١١

الجُزءُ الثّاني





دولــة فلسطين
وزارة التربية والتعليم

صيانة الآلات الصناعية

(نظري وعملي)

المسار المهني - الفرع الصناعي

فـريـق التـأليـف

م. زياد القواسمة م. رامي أبو شخيدم



م. ماهر يعقوب (منسقاً)

قررت وزارة التربية والتعليم في دولة فلسطين
تدريس هذا الكتاب في مدارسها بدءاً من العام الدراسي 2018 / 2019م

الإشراف العام

رئيس لجنة المناهج	د. صبري صيدم
نائب رئيس لجنة المناهج	د. بصري صالح
رئيس مركز المناهج	أ. ثروت زيد

الدائــرة الفنية

الإشراف الاداري والفني	أ. كمال فحماوي
التصميم	رنيم حمدان
التحـرير اللغـوي	أ. أحمد الخطيب
متابعة المحافظات الجنوبية	د. سمية النخالة

الطبعة التجريبية
٢٠٢٠ م/ ١٤٤١ هـ

دولـــة فلسطين
وزارة التربية والتعليم



مركز المناهج

mohe.ps | mohe.pna.ps | moehe.gov.ps
.com/MinistryOfEducationWzartAltrbytWaltlym
فاكس +970-2-2983250 هاتف +970-2-2983280

حي الماصيون، شارع المعاهد
ص. ب 719 - رام الله - فلسطين
pcdc.mohe@gmail.com | pcdc.edu.ps

تقديم

يتصف الإصلاح التربوي بأنه المدخل العقلاني العلمي النابع من ضرورات الحالة، المستند إلى واقعية النشأة، الأمر الذي انعكس على الرؤية الوطنية المطورة للنظام التعليمي الفلسطيني في محاكاة الخصوصية الفلسطينية والاحتياجات الاجتماعية، والعمل على إرساء قيم تعزز مفهوم المواطنة والمشاركة في بناء دولة القانون، من خلال عقد اجتماعي قائم على الحقوق والواجبات، يتفاعل المواطن معها، ويعي تراكيبها وأدواتها، ويسهم في صياغة برنامج إصلاح يحقق الآمال، ويلامس الأماني، ويرنو لتحقيق الغايات والأهداف.

ولما كانت المناهج أداة التربية في تطوير المشهد التربوي، بوصفها علماً له قواعده ومفاهيمه، فقد جاءت ضمن خطة متكاملة عالجت أركان العملية التعليمية التعلمية بجميع جوانبها، بما يسهم في تجاوز تحديات النوعية بكل اقتدار، والإعداد لجيل قادر على مواجهة متطلبات عصر المعرفة، دون التورط بإشكالية التشتت بين العولمة والبحث عن الأصالة والانتماء، والانتقال إلى المشاركة الفاعلة في عالم يكون العيش فيه أكثر إنسانية وعدالة، وينعم بالرفاهية في وطن نحمله ونعظمه.

ومن منطلق الحرص على تجاوز نمطية تلقّي المعرفة، وصولاً لما يجب أن يكون من إنتاجها، وباستحضار واعٍ لعديد المنطلقات التي تحكم رؤيتنا للطالب الذي نريد، وللبنية المعرفية والفكريّة المتوخّاة، جاء تطوير المناهج الفلسطينية وفق رؤية محكومة بإطار قوامه الوصول إلى مجتمع فلسطيني ممتلك للقيم، والعلم، والثقافة، والتكنولوجيا، وتلبية المتطلبات الكفيلة بجعل تحقيق هذه الرؤية حقيقة واقعة، وهو ما كان له ليكون لولا التناغم بين الأهداف والغايات والمنطلقات والمرجعيات، فقد تآلفت وتكاملت؛ ليكون النتاج تعبيراً عن توليفة تحقق المطلوب معرفياً وتربوياً وفكرياً.

ثمّة مرجعيات تؤطّر لهذا التطوير، بما يعزّز أخذ جزئية الكتب المقرّرة من المنهاج دورها المأمول في التأسيس؛ لتوازن إبداعي خلّاق بين المطلوب معرفياً، وفكرياً، ووطنياً، وفي هذا الإطار جاءت المرجعيات التي تم الاستناد إليها، وفي طليعتها وثيقة الاستقلال والقانون الأساسي الفلسطيني، بالإضافة إلى وثيقة المنهاج الوطني الأول؛ لتوجّه الجهد، وتعكس ذاتها على مجمل المخرجات.

ومع إنجاز هذه المرحلة من الجهد، يغدو إزجاء الشكر للطواقم العاملة جميعها؛ من فرق التأليف والمراجعة، والتدقيق، والإشراف، والتصميم، وللجنة العليا أقل ما يمكن تقديمه، فقد تجاوزنا مرحلة الحديث عن التطوير، ونحن واثقون من تواصل هذه الحالة من العمل.

وزارة التربية والتعليم

مركز المناهج الفلسطينية

آب / 2018م

مقدمة:

يأتي هذا المقرر ضمن خطة وزارة التربية والتعليم لتحديث المناهج الفلسطينية وتطويرها في الفروع التعليم المهني، بحيث يتضمن مصفوفة مهارات يجب توفيرها لخريج التعليم المهني، تكسبه مجموعة من الكفايات والمهارات التي يطلبها سوق العمل، وتواكب آخر التطورات الحديثة في علم الصناعة .

لقد تم تأليف هذا الكتاب ضمن منهجية الوحدات النمطية المبنية على المواقف والأنشطة التعليمية، حيث يكون الطالب منتجاً للمعرفة لا متلقياً لها، ونعطي له الفرصة للانخراط في التدريبات التي يتم تنفيذها بروح الفريق والعمل الجماعي، لذا تضمنت وحدات هذا المقرر الحالات الدراسية التي تعمل على تقريب الطالب المتدرب من بيئة سوق العمل، والانشطة التعليمية ذات الطابع التطبيقي والمتضمنة خطة العمل الكامل للتمرين، لما يحتويه من وصف ومنهجية وموارد ومتطلبات تنفيذ التمرين، اضافة الى صناديق المعرفة، وقضايا التفكير التي تزيد من ذاكرة الطالب .

لقد تم ربط انشطة هذا الكتاب وتدريباته بقضايا عملية مرتبطة بالسياق الحياتي للطالب، وبما يراعي قدرته على التنفيذ، كما تم التركيز على البيئة والسوق الفلسطيني وخصوصياتهما عند طرح الموضوعات، وربطها بواقع الحياة المعاصرة، تجلى ذلك من خلال الامثلة العملية، والمشاريع.

لقد تم ربط توزيع مادة الكتاب الذي بين ايدينا (الفصل الثاني) على وحدتين نمطيتين اساسيتين، الوحدة الرابعة تتعلق بصيانة الدوائر الالكترونية الصناعية، كما تم التعرف منها على ثمانية مواقف تعليمية تطبيقية تتعلق بفك العناصر الالكترونية عن اللوحات الالكترونية ولحامها وصيانة مغذيات الطاقة التقليدية وفحص الترانزستورات بكافة أنواعها لاستبدال التالف منها، وكذلك فحص دوائر الموائمة أو الربط الهامة للتأكد منها وصولاً الى بناء بعض دوائر التحكم بمقدار القدرة الكهربائية الواصلة للحمل، أما الوحدة الخامسة التي تتعلق بتشغيل المحركات الكهربائية وصيانتها، فتضمنت خمسة مواقف تعليمية عن كيفية القيام بتشغيل محركات التيار المستمر والتيار المتناوب بأنواعها، وكذلك تشخيص اعطالها الكهربائية والميكانيكيّة واصلاحها من خلال مواقف تعليمية مرتبطة بواقع السوق.

ولما كانت هناك حاجة لصقل المعلومة النظرية بالخبرة العملية، فقد تم وضع مشروع في نهاية كل وحدة نمطية، وذلك لتطبيق ما تعلموه، ونأمل تنفيذه بإشراف المعلم .

ونسأل الله ان نكون قد وفقنا في عرض موضوعات هذا الكتاب، بما يراعي قدرات الطلبة ومستواهم الفكري وحاجاتهم وميولهم النفسية والوجدانية والاجتماعية، وكلنا امل بتزودنا بملحوظاتكم البناءة على هذا العمل، ليتم ادخال التعديلات والاضافات الضرورية في الطبعات اللاحقة، ليصبح هذا الجهد تاماً ومتكاملاً وخالياً من أي عيب أو نقص قدر الامكان، هذا والله ولي التوفيق .

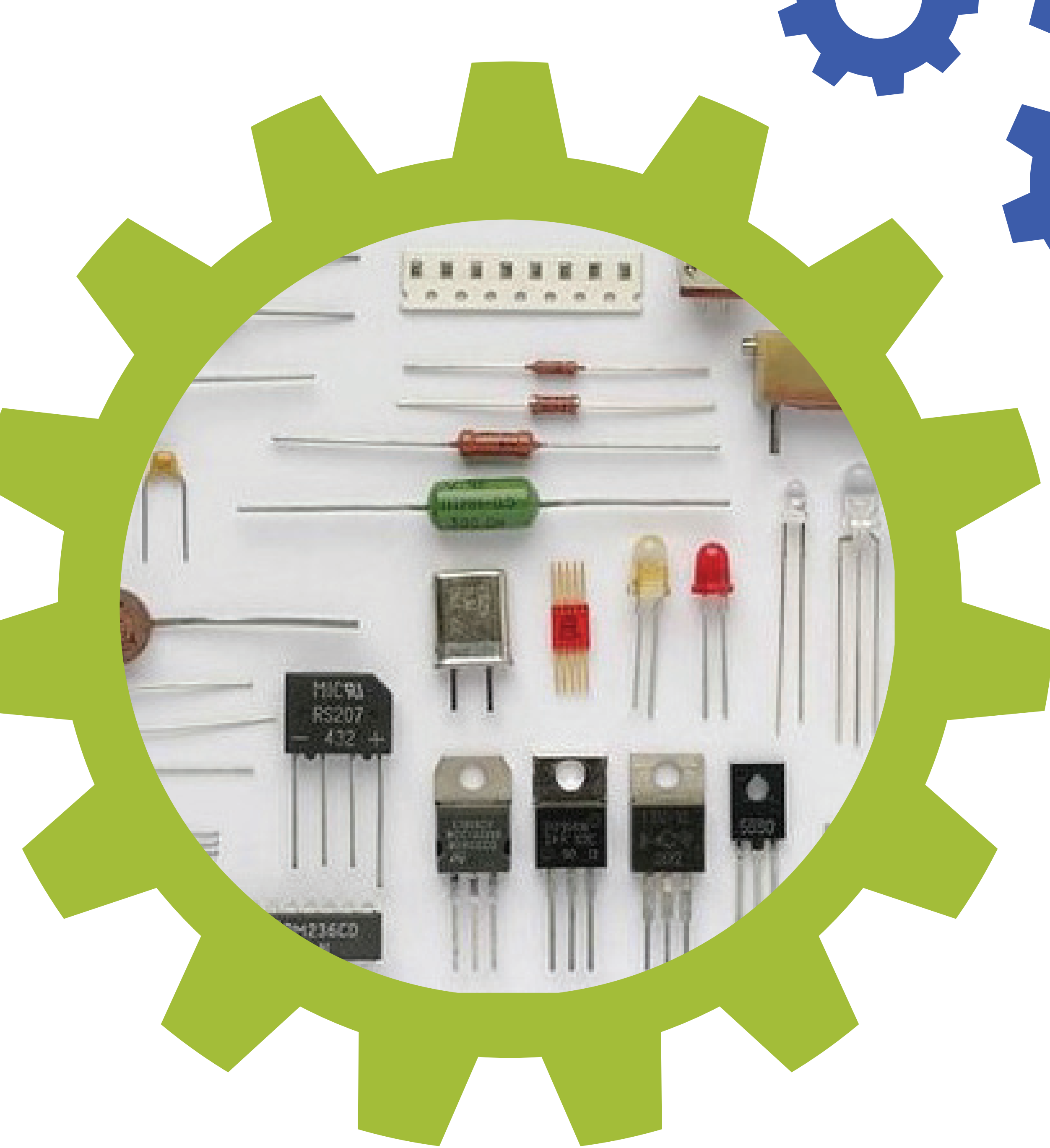
والله ولي التوفيق

فريق التأليف

المحتويات

الوحدة النمطيّة الرابعة

صيانة الدوائر الإلكترونيّة الصناعيّة



أتامل ثم أناقش: ما أساس الثورة الصناعيّة؟

يتوقع من الطلبة بعد دراسة وحدة صيانة الدوائر الالكترونية الصناعية، والتفاعل مع أنشطتها، أن يكونوا قادرين على استخدام العِدَد والأدوات اليدويّة وأجهزة القياس الإلكترونيّة الأساسيّة، ويقوموا بأعمال صيانة الدوائر الإلكترونيّة الصناعيّة، وذلك من خلال الآتي:

1- فك العناصر الإلكترونيّة ولحامها.

2- تمييز أنواع المحوِّلات الكهربائيّة واستخداماتها وأهمِّيَّتها.

3- صيانة مكوّنات مغذّيات الطاقة التقليديّة وإصلاحها.

4- بناء دارة إلكترونيّة لتشغيل محرّك تيّار مستمرّ يعمل بجهد منظّم يتراوح ما بين (0 - 30VDC/5A).

5- صيانة لوحة إلكترونيّة لشاحن بطّاريّة تحتوي على ترانزستورات تالفة.

6- التّعرّف إلى المفتاح الترانزستوري (دارة الموائمة).

7- التّعرّف إلى الثايرستور، ومبدأ عمله، وفحصه، واستبداله.

8- بناء دارات التحكّم بالقدرة الواصلة لحمل كهربائيّ.

الكفايات المهنيّة

الكفايات المتوقّع امتلاكها من الطلبة بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة هي:

أولاً- الكفايات الحرفيّة؛ وتتمثل في القدرة على:

1- فكّ العناصر الإلكترونيّة عن لوحة إلكترونيّة، ولحامها.
2- تمييز أنواع الديودات الأساسيّة، ومبدأ عملها.
3- بناء دارة مصدر تغذية منظّمة بسيطة، وتشغيلها.
4- تمييز أنواع الترانزستورات، ومواصفاتها، وتحديد أطرافها، وصلاحيتها.
5- بناء دارة مفتاح ترانزستوري (دارة الموائمة).
6- اتّباع الإرشادات والتعليمات الفنّيّة الخاصة بكتالوج التركيب والصيانة والتشغيل.
7- قراءة مواصفات القطع الإلكترونيّة والالتزام بشروط التركيب الصحيحة.
8- صيانة مكوّنات مغذّيات الطاقة التقليديّة وإصلاحها.
9- بناء دارة التحكّم بالقدرة الواصلة لحمل كهربائيّ باستخدام الثايرستور والترياك.

ثانياً- الكفايات الاجتماعيّة والشخصيّة:

1- المصداقيّة في التعامل مع الزبون.
2- الحفاظ على خصوصيّة الزبون.
3- تلبية رغبات الزبون.
4- إقناع الزبون.
5- القدرة على تحمّل النقد.
6- الالتزام بأخلاقيّات المهنة.

ثالثاً- الكفايات المنهجيّة:

1- التّعلّم التعاونيّ.
2- الحوار والمناقشة.
3- البحث العلميّ.
4- العصف الذهني واستمطار الأفكار.

قواعد الأمن والسلامة المهنيّة:

1 - ارتداء الزي المناسب (ملابس مناسبة وغير فضفاضة، أو ذات أطراف طويلة)، وعدم حمل أيّ نوع من أنواع المعادن في اليدين أو الجسم (خواتم، وسلاسل، وساعات...إلخ) للوقاية من أيّ خطر.

2 - توافر متطلبات السلامة الشخصية والبيئة المحيطة (الكفوف، والأرواب، والعوازل الأرضيّة، والشَفّاطات إن لزم الأمر، وأنظمة المراقبة والأمان، وحقيبة الإسعافات الأولية...إلخ).

3 - التركيز أثناء العمل، والتزام الانضباط والحذر، والحدّ من أيّ ضوضاء.

4 - عدم العبث بالأجهزة والأدوات الموجودة داخل المشغل أو الورشة، وحفظها بصورة جيدة.

5 - الالتزام بتعليمات التشغيل لأي جهاز أو أداة تدريبية، وعدم إزالة أيّ جزء مخصّص للحماية والأمان.

6 - التأكّد من عزل الأسلاك الَّتي تتعامل معها وعدم تعريضها للتلف، ومراعاة إبعادها عن أيّ وصلات معدنية أو مياه، والانتباه إلى أيّة أسلاك كهربائيّة يمرّ بها تيّار كهربائيّ.

7 - المحافظة على نظافة المكان وترتيبه بصفة دائمة بعد الانتهاء من التدريب.

8 - عمل صيانة دورية للأجهزة، وفحص الأسلاك والتوصيلات وبيئة التدريب.

9 - اتّباع تعليمات المدرّب، ومراجعته عند الضرورة.

10 - عدم لمس الأجهزة الموجودة في المشغل إلّا بتوجيهات من مشرف المشغل.

11 - عدم تشغيل أيّ من التمارين العمليّة الَّتي تمَّ إنجازها إلّا تحت إشراف مشرف المشغل.

12 - التأكّد من إطفاء جميع الأجهزة بعد الانتهاء من أداء التجارب، والحصول على النتائج.

13 - الحفاظ على المشغل نظيفاً طوال الوقت، وبعد الانتهاء من التجارب العمليّة.

14 - الانتباه من خطر الصعق الكهربائيّ أثناء التعامل مع مصادر التغذية عالية القدرة.

4 - 1 الموقف التعليميّ الأول: فكّ العناصر الإلكترونيّة ولحامها

وصف الموقف التعليميّ التّعلّميّ:

حضر صاحب مصنع عصير إلى مؤسسة صيانة الآلات الصناعيّة ومعه لوحة إلكترونيّة خاصّة بجهاز كهربائيّ يحتوي على عناصر إلكترونيّة تالفة، وطلب فكّ هذه العناصر التالفة، وذلك لاستبدالها بأخرى سليمة.

العمل الكامل:

خطوات العمل	وصف الموقف الصّفّيّ	المنهجيّة (إستراتيجيّة التّعلّم)	الموارد حسب الموقف الصّفّيّ
أجمع البيانات، وأحلّلها	• أجمع البيانات من صاحب مصنع العصير عن طبيعة الخلل: - نوع الجهاز الَّذي يستخدم هذه اللَّوحة. - هل يمكنه تحديد القطع التالفة؟ - هل تمَّ عرض هذه اللَّوحة على ورشة صيانة سابقة؟ • أجمع البيانات حول: - اللَّوحة الإلكترونيّة. - أنواع كاويات اللِّحام. - أنواع الشَفّاطات ومزيلات اللِّحام. - العِدَد والأدوات اليدويّة والأجهزة المستخدمة في عمليّة اللِّحام. - مواصفات نقطة اللِّحام المثاليّة.	• الحوار والمناقشة. • العمل الجماعي.	• القرطاسيّة. • وثائق (كتالوجات). • لوحات إلكترونيّة لا تعمل (متلفة). • الشبكة العنكبوتية.
أخطِّط، وأقرِّر	• أصنف البيانات وتبويبها. • أحدد خطوات العمل: - رسم المُخطّطات الإلكترونيّة المتعلّقة باللَّوحة الإلكترونيّة. - تحديد القطع التالفة. - إعداد جدول بالبدائل المقترحة لاستبدال القطع الإلكترونيّة التالفة ومواصفاتها وجدوى الاستبدال. - تحديد الأدوات والعِدَد والأجهزة اللازمة. - إعداد جدول زمنيّ للتنفيذ.	• العصف الذهني. • الحوار والمناقشة. • العمل التعاونيّ.	• قرطاسيّة. • وثائق. • نموذج الجدول الزمنيّ.
أُنفِّذ	• استخدام أدوات السلامة المهنيّة وفقاً للمعايير الفنِّيَّة وأنظمة السلامة ذات الصلة (درجة حرارة كاوي اللِّحام، ومكان نقطة اللِّحام، ومكان وضع كاوي اللِّحام). • استخدام العِدَد والأدوات المناسبة لعمليّة الفكّ والتركيب والتثبيت. • فك اللِّحام عن العناصر الإلكترونيّة التالفة. • تنظيف بقايا اللِّحام عن اللَّوحة الإلكترونيّة. • تثبيت العناصر الإلكترونيّة الجديدة في المكان المخصّص. • لحام العناصر الإلكترونيّة.	• العمل التعاونيّ. • البحث العلميّ. • العصف الذهني.	• صندوق العِدّة. • القطع اللازمة لعمليّة التركيب والتشغيل والصيانة. • أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة.

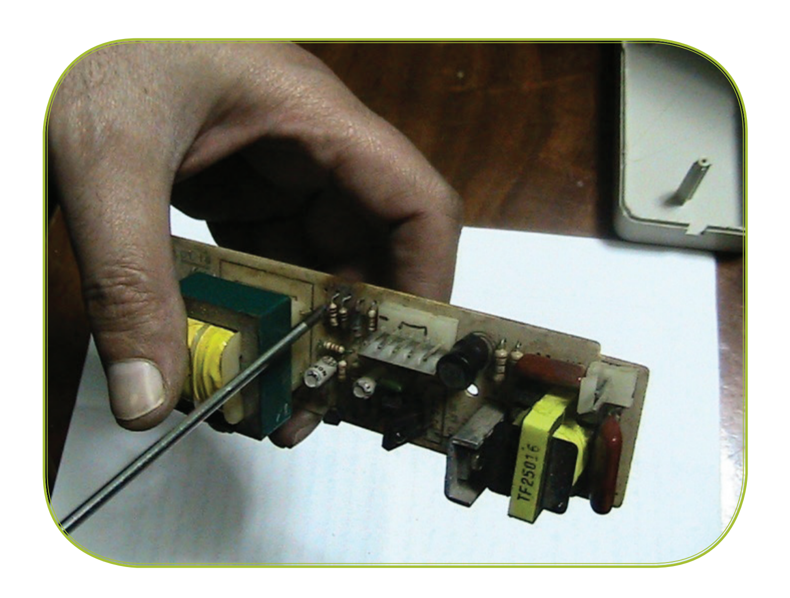
أَتَحَقّق	• التّحقّق من السلامة والاحتياطات الّتي تمَّ أخذها بعين الاعتبار أثناء فكّ القطع الإلكترونيّة وتركيبها. • التّحقّق من عمليّة اللِّحام وتوصيل القطع الإلكترونيّة. • تشغيل اللَّوحة في الجهاز المتعلّق بها. • إعادة العِدَد والأدوات المستخدمة إلى مكانها. • التّحقّق من جودة العمل.	• الحوار والمناقشة. • التعلم التعاوني.	• مواصفات نقطة اللِّحام الجيِّدة. • تثبيت القطع الإلكترونيّة.
أُوَثِّق، أقدم	• إنشاء قوائم خاصّة بالعِدَد اليدويّة ووسائل القياس المستخدمة. • تحديد جدول زمنيّ للتسليم. • تسليم قوائم العمل لمسؤول الصيانة. • فتح ملفّ بالحالة.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• جهاز حاسوب. • جهاز عرض. • قرطاسيّة.
أقوم	• رضى صاحب المصنع بما يتفق مع طلبة. • المطابقة مع المواصفات والمعايير.	• الحوار والمناقشة. • البحث العلميّ.	• نماذج التقويم. • طلب الزبون.

الأسئلة:

1. افسّر سبب استخدام كاوي اللِّحام ذي القدرة المنخفضة لفكّ العناصر الإلكترونيّة والدوائر المتكاملة.
2. أوضح أنواع كاويات اللِّحام؟ وما الفرق بينها؟
3. أناقش سبب إضافة مادة الفلكس أثناء عمليّة اللِّحام.
4. أذكر نسبة مادة الرصاص والقصدير المستخدمة في قصدير اللِّحام.
5. أذكر أهم المواصفات الفنِّيَّة الواجب توافرها في كاوي اللِّحام.
6. أوضِّح آليّة فكّ القطع الإلكترونيّة من بورد إلكترونيّ.



أتعلّم:



نشاط: أناقش الأسباب الَّتي تؤدي إلى احتراق العناصر الإلكترونيّة الأساسيّة مع زملائي.

يُعَدّ اللِّحام من المهارات الأساسيّة للعاملين في مجال الإلكترونيّات، والهدف منه ربط العناصر، أو المكوّنات الإلكترونيّة بعضها ببعض؛ لكي تكون في النهاية دائرة إلكترونيّة يمكن الاستفادة منها.

اللِّحام (Welding): هو عمليّة توصيل الأسلاك بعضها ببعض، وتثبيت العناصر الإلكترونيّة باستعمال كاوي لحام مناسب، وسلك لحام (قصدير) مناسب.

أولاً- أدوات لحام العناصر الإلكترونيّة وفكّها:

1 - كاوي اللِّحام (Soldering Iron):

هو جهاز يحول الطاقة الكهربائيّة إلى طاقة حرارية، وكلما زادت سماكة الأسلاك المراد فكّها ولحامها احتاج إلى حرارة أعلى، ويوجد أنواع بقدرات مختلفة من كاويات اللِّحام:

- **كاوي لحام قدرة واحدة:** يستخدم لفكّ العناصر الإلكترونيّة (أشباه الموصلات) ولحامها، وتتراوح قدرته بين (20W - 30W)، كما هو مبيّن في الشكل (1 - أ).
- **كاوي لحام بقدرتين:** يحتوي هذا الكاوي على كبسة لتغيير القدرة، ويكون في وضع التشغيل العاديّ على قدرة (30W) دون الضغط على الكبسة، أمّا عند الضغط على الكبسة فترتفع قدرته إلى (130W)، تستخدم القدرة المنخفضة في لحام العناصر الإلكترونيّة وفكّها، بينما تستخدم القدرة العالية عند الضغط على الكبسة لفترة قصيرة في لحام أسلاك عناصر إلكترونيّة سميكة، ويمتاز باستغلاله الجيّد للطاقة، كما في الشكل (1 - ب).

- **كاوي لحام متغيّر القدرة:** حيث يحتوي على مفتاح لتغيير الحرارة، أو عن طريق كبسة لزيادة الحرارة أو إنقاصها إلكترونيّا، وَيُعَدّ هذا النوع من أفضل الأنواع؛ لأنه يمكن التحكّم بدرجة الحرارة المطلوبة، بالإضافة إلى توفير الطاقة. وتحتوي بعض الأنواع على رأس إضافيّ يعمل على صهر اللّحام عن طريق الهواء الساخن، الّذي يستخدم في لحام وشفط اللِّحام للعناصر الإلكترونيّة السطحية، ومزوّد بفوهة ذات أقطار مختلفة، كما هو مبيّن في الشكل (1 - ج).



شكل (1 - أ): كاوي لحام قدرة ثابتة



شكل (1 - ب): كاوي لحام بقدرتين

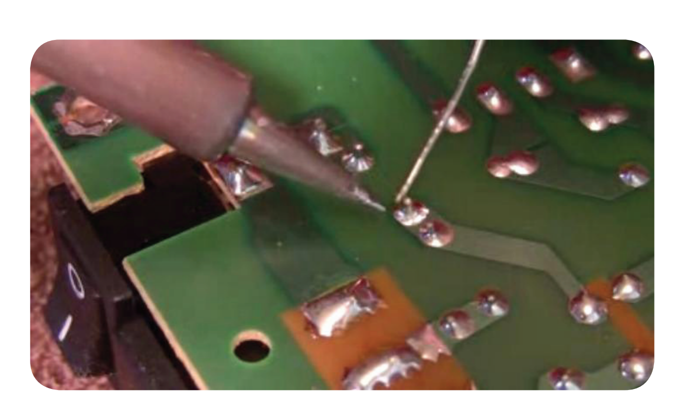


شكل (1 - ج): كاوي لحام قدرة متغيّرة

شكل (1): أنواع مكاوي اللِّحام

2 - سلك اللِّحام (القصدير) (Soldering Lead):

يتكوّن عادة من سبيكة الرصاص والقصدير، والنسبة المفضّلة في لحام العناصر الإلكترونيّة هي (60/40) أيّ نسبة (40%) من الرصاص، ونسبة (60%) من القصدير، وينصح باستخدام اللِّحام الّذي يحتوي على مادة مساعدة للتنظيف وتثبيت اللِّحام، ويصنع سلك اللِّحام بعدة أقطار، وينصح باستخدام (0.5mm) أو (0.8mm) للقطع الإلكترونيّة، شكل (2).





شكل (2): سلك الحام (القصدير)

تنصهر السبيكة من الرصاص والقصدير عند درجة حرارة (190C°) وهي درجة حرارة تستطيع معظم كاويات اللِّحام تأمينها، وبعد أن يقوم رأس الكاوي بإذابة الخليط الّذي سيعمل على وصل معدنين مختلفين، فإنّ الخليط سيبرد بسرعة، ويتجمّد؛ ما يؤمّن عمليّة التوصيل الجيِّد، وتحصل عمليّة اللِّحام.

3- الفلكس (Soldering Flux):

هو معجون اللِّحام (كريم اللِّحام) الذي يُستخدم لتسهيل عمليّة اللِّحام، كما في الشكل (3)، ومن ميزات الفلكس:

- توزيع الحرارة بشكل متساوٍ في منطقة العمل.
- تسريع عمليّة التسخين.
- العزل لنقاط التوصيل المتجاورة بعضها عن بعض بشكل أسهل.
- إعطاء شكل جيِّد للقصدير؛ للحصول على نقطة اتِّصال قوية.

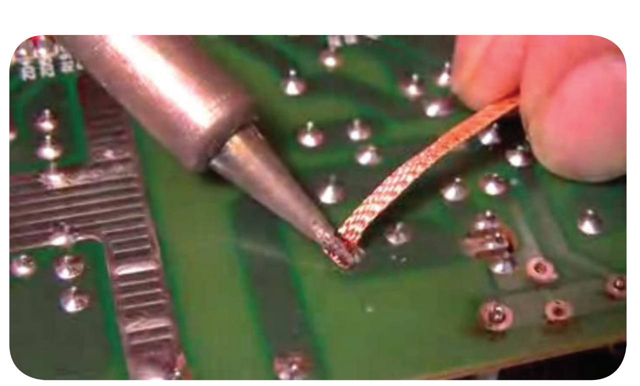


شكل (3): الفلكس

4- (الشيلد) (Solder Wick):

هي أداة تُستخدم لإزالة اللِّحام أو القصدير الزائد، وللفصل بين النقاط المشتركة، كما في الشكل (4)، ويتمّ استخدامها بوضع (الشيلد) على المنطقة المراد إزالتها، حتى يسخن جزء (الشيلد) من كاوي اللِّحام، ويصبح جزءاً واحداً من القصدير.





شكل (4): (الشيلد)

5- شفّاط اللِّحام (Desoldering Pump):

يُستخدم شفّاط اللِّحام في سحب اللِّحام غير المرغوب فيه، وإزالته بعد تسخينه، والشكل (5) يوضّح شفّاط لحام.



شكل (5): شفّاط اللِّحام

6- حامل كاوي اللِّحام (Soldering Iron Stand):

يُستخدم حامل كاوي اللِّحام في تثبيت الكاوي أثناء انتظار عمليّة التسخين للكاوي، بالإضافة لوضعه لفترة من الزمن؛ حتى يبرد رأس الكاوي بعد الانتهاء من عمليّة اللِّحام، والشكل (6) يوضّح حامل كاوي اللِّحام.

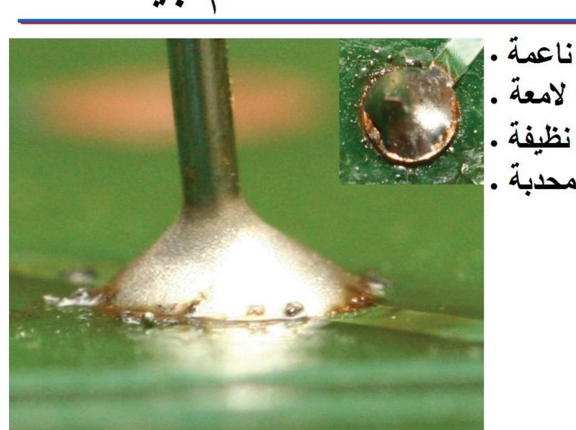


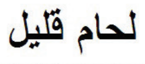
شكل (6): حامل كاوي اللِّحام

ثانياً- مواصفات نقطة اللِّحام الجيِّدة:

عند البدء بعمليّة الفكّ والتركيب، يجب معرفة نوع القصدير الذي سيعمل عليه، ونوع اللَّوحة الإلكترونيّة؛ إذ إنّ هناك نوعين من القصدير، هما: القصدير العاديّ، والقصدير الخالي من الرصاص، والفرق بينهما أنّ القصدير الخالي من الرصاص يحتاج إلى حرارة أعلى، وفترة أطول في الفكّ والتركيب، وكل عمليّة لحام يجب أن تستخدم مادة الفلكس؛ لأنّها تساعد على انصهار القصدير، وعلى لحامها بشكل صحيح، شكل (7).

تتَّصف نقطة اللِّحام الجيِّدة بأنّها ملساء، ولامعة، وصغيرة، وكمّيّة اللِّحام تكون كافية؛ لأنّ الزيادة تؤدي إلى خلل في التوصيل، وأحياناً يحصل قصر في اللَّوحة الإلكترونيّة.









شكل (7): طريقة اللِّحام الجيِّد ومواصفاته

ثالثاً- الخطوات الأساسيّة لعمليّة لحام العناصر الإلكترونيّة:

اتّبع القواعد الآتية لكي تجعل نقطة اللِّحام جيدة: شكل (8 و 9).

- التأكّد من نظافة جميع الأجزاء والأدوات قبل البدء بعمليّة لحام القطع الإلكترونيّة.
- توخّي الحذر عند التعامل مع كاوي اللِّحام، وإبعاد أيّ معيقات عن منطقة العمل.
- وضع قليل من مادة اللِّحام (القصدير) على رأس الكاوي.
- استخدام حامل اللوحات الإلكترونيّة أو الماسكة للإمساك باللوحات أثناء اللِّحام.
- تنظيف رأس الكاوي من خلال الإسفنج المخصّص لذلك بعد كلّ عمليّة لحام.
- ضبط درجة حرارة المكواة عند درجة متوسطة (325C° - 375C°).
- إذا رأيت الدخان يتصاعد من المكواة خفّض درجة الحرارة.
- تغطية رأس المكواة بالقصدير قبل بدء اللِّحام لتسهيل اللِّحام.
- استخدم جانب الرأس وليس مقدمة الرأس.
- تسخين النقطة والجزء الَّذي تريد لحامه بالتساوي لمدة لا تتجاوز (3 ثوانٍ)، ثم أبعد المكواة.
- لا تحرّك الأجزاء حتى تبرد.

بالنسبة لعملية اللحام، فإنها تتم وفقاً للخطوات التالية:

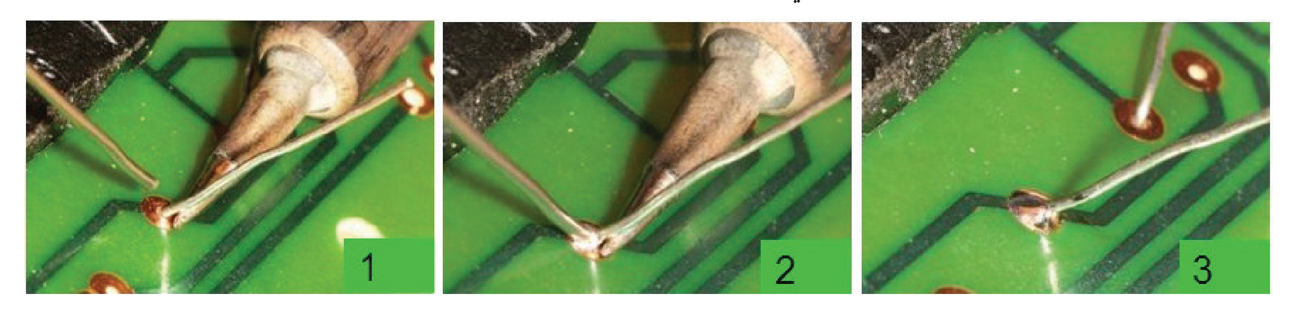
1- وضع العناصر الالكترونية على لوح الدارة المطبوعة بالشكل الصحيح، والقيام بثني أرجل العنصر الالكتروني المراد لحمه.

2- وضع كاوي اللحام بزاويةٍ قدرها (45°)، ومن ثم تقريب سلك اللحام على نقطة التوصيل, كما في الشكل (8 – 1).

3- دع مادة سلك اللحام تنصهر وتنساب على الوصلة حتى تغطيها بشكلٍ كافي، ومن ثم ارفع رأس الكاوي وسلك اللحام سويةً عنها. لا تقم برفع الكاوي قبل رفع السلك، لأن ذلك قد يؤدي لأن يلتصق السلك بالوصلة، قم برفعهما معاً للحصول على أفضل نتيجة, كما في الشكل (8 – 2).

4- انتظر جفاف الوصلة، ومن ثم تأكد من تثبيت العنصر الالكتروني على لوح الدارة المطبوعة عبر وصلة اللحام, كما في الشكل (8 – 3).

5- تأكد من أن شكل الوصلة مناسب، وخالي من الشوائب والتقشرات.



شكل (8): خطوات عملية اللحام

4 - 2 الموقف التعليميّ الثاني: تمييز أنواع المحوّلات الكهربائيّة واستخداماتها وأهمِّيَّتها

وصف الموقف التعليميّ التّعلّميّ:

حضر صاحب مشغل ملابس إلى مؤسسة صيانة الآلات الصناعيّة ولديه جهاز كهربائيّ يعمل على جهد متناوب، مقداره (24V)، وطلب فحص محوّل كهربائيّ، لكي يستطيع استخدامه في تشغيل حمل كهربائيّ، مع العلم أنّ الجهد الكهربائيّ من المزوّد هو (220V).

العمل الكامل:

خطوات العمل	وصف الموقف الصّفّيّ	المنهجيّة (إستراتيجيّة التّعلّم)	الموارد حسب الموقف الصّفّيّ
أجمع البيانات، وأحلّلها	• أجمع البيانات من صاحب مشغل الملابس عن: - نوع الجهد المراد التحويل إليه ومقداره. • أجمع البيانات عن: - أشكال المحوّلات الكهربائيّة. - تركيب المحوّلات الكهربائيّة، ومبدأ عملها. - أهم المواصفات الفنّيّة للمحوّلات الكهربائيّة. - آليّة فحص المحوّلات الكهربائيّة. - أهمّ التطبيقات المستخدم فيها المحوّلات الكهربائيّة.	• البحث العلميّ. • الحوار والمناقشة.	• قرطاسيّة. • أقلام. • وثائق (كتالوجات). • الشبكة العنكبوتية.
أخطّط، وأقرّر	• أصنف البيانات وتبويبها. • أحدد الأدوات والعِدَد والأجهزة اللازمة للعمل. • تحديد خطوات العمل: - إعداد مخطّط التوصيل بين الأنظمة المراد ربطها معاً. - تحديد محوّل مناسب لعمل الجهاز. - إعداد جدول زمنيّ للتنفيذ.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ/ العمل في مجموعات.	• قرطاسيّة. • وثائق. • نموذج الجدول الزمنيّ.
أنفّذ	• استخدام أدوات السلامة المهنيّة، تبعاً للمعايير الفنّيّة ذات الصلة. • تمييز أطراف التوصيل للمحوّل الكهربائيّ. • التأكُّد من صلاحِيَة المحوّل الكهربائيّ. • توصيل المحوِّل مع الجهاز الكهربائيّ.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ. • العصف الذهني.	• صندوق العِدّة. • القطع اللازمة لعمليّة التركيب والتشغيل والصيانة. • أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة. • مجموعه من المحوّلات الكهربائيّة. • أدوات لحام العناصر الإلكترونيّة وفكّها.

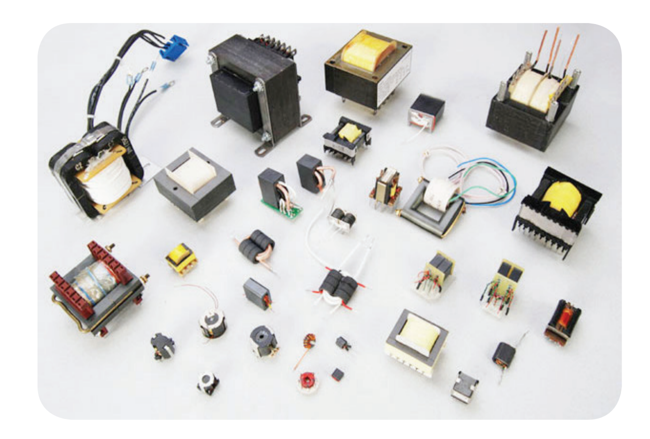
أتحقّق	• التّحقّق من السلامة والاحتياطات الَّتي تمَّ أخذها بعين الاعتبار أثناء فكّ المحوِّل وتركيبه. • فحص الجهد الخارج من المحوِّل الكهربائيّ الذي تمَّ توصيله. • مطابقته للمواصفات القياسيّة للمحوِّلات. • تشغيل الأنظمة معاً، والتأكد من عملها جيداً.	• التّعلّم التعاونيّ/ مجموعات عمل.	• الوثائق والكتالوجات. • جهاز فحص رقميّ (DMM). • الشبكة العنكبوتية.
أوثّق، وأعرض	• إنشاء قوائم خاصّة بالعِدَد اليدويّة ووسائل القياس المستخدمة. • تحديد جدول زمنيّ للتسليم. • تسليم قوائم العمل لمسؤول الصيانة. • فتح ملفّ بالحالة.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• جهاز حاسوب. • جهاز عرض. • قرطاسيّة.
أقوم	• رضى صاحب مشغل الملابس بما يتفق مع طلبة. • المطابقة مع المواصفات والمعايير.	• الحوار والمناقشة. • البحث العلميّ.	• نماذج التقويم. • طلب الزبون.

الأسئلة:

1. أوضح الوظيفة الرئيسة للمحوِّل الكهربائيّ؟
2. أوضح مبدأ عمل المحوِّل الكهربائيّ.
3. أوضح كيف يمكن تحديد الملفّ الرئيس والثانويّ في المحوِّل؟
4. أوضح المواصفات المُهِمَّة لمحوِّل أحاديّ الطور عند الشراء؟
5. أوضح طرق توصيل المحوِّلات ثلاثيّة الطور الأكثر شيوعاً؟
6. أوضح أهم الأعطال الكهربائيّة الَّتي قد تحدث للمحوِّل، وكيف يتمّ إصلاحها؟



أتعلّم:



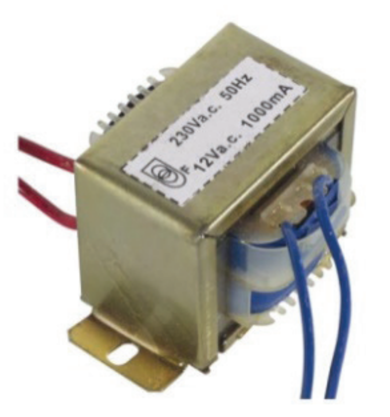
نشاط (1): أجمع عدداً من المحوِّلات الكهربائيّة، وأحدّد نوعها من حيث كونها (رافعة، خافضة) للجهد، والقيم المقرّرة لملفاتها الابتدائيّة والثانويّة؟

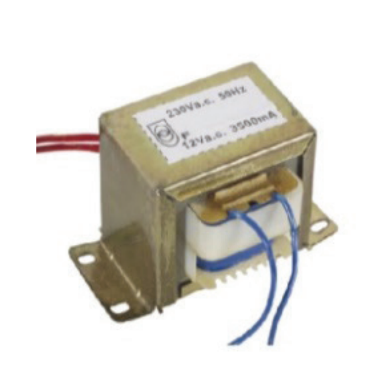
المحولات (Transformers):

أولاً- المحوِّل أحاديّ الطور (Single Phase Transformer):

المحوِّل: هو عبارة عن عنصر كهربائيّ مكوّن من ملفّين، أو أكثر، متّصلين بعضهما مع بعض كهرومغناطيسيّاً ومنفصلين كهربائيّاً، فيتكوّن ما يُسمّى بالحثّ المتبادل بينهما.



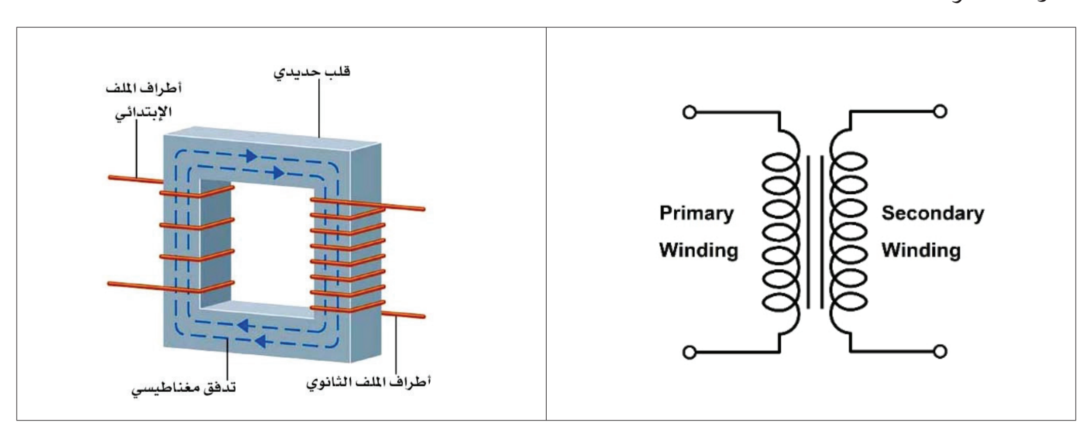




شكل (1): أشكال المحوِّل الكهربائيّ

1- تركيب المحوِّل: شكل (2).

- **ملفّ ابتدائي (Primary Winding):** ويكون متَّصلاً بمصدر الجهد، وهو الدخل.
- **ملفّ ثانويّ (Secondary Winding):** ويكون متَّصلاً بالحمل، وهو الخرج.
- **القلب الحديديّ (Core):** يساعد على تجميع وتركيز المجال المغناطيسيّ الناتج من الملفّ الابتدائيّ، وينقله إلى الملفّ الثانويّ فيزيد الحث، ويكون مصنوعاً من رقائق الحديد المعزولة بالورنيش أو أيّة مادة عازلة لتقليل التيّارات الدوامية.



شكل (2): تركيب المحوِّل الكهربائيّ ورمزه

وتُلَفّ لفّات المحوِّل حول مادة تُسمّى قلباً، بحيث يعمل هذا القلب على تركيز المجال المغناطيسيّ بين الملفّين، كما في الشكل (2) أعلاه، ويتكوّن القلب من ثلاثة أنواع، هي:

- قلب هوائيّ.
- قلب حديديّ.
- قلب فيرايت.

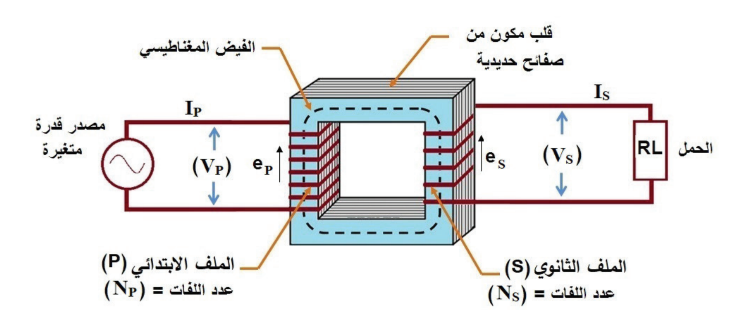
2- الحثّ المتبادل ونظريّة عمل المحوِّل:

سؤال: لماذا لا يعمل المحوِّل الكهربائيّ في أنظمة التيّار المستمرّ.

يعتمد مبدأ عمل المحوِّل الكهربائي على قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسيّ الذي ينص على أن (قيمة القوة الدافعة للجهد الكهربائيّ تتناسب تناسباً طردياً مع معدل تغيّر التدفق المغناطيسيّ)، كما في الشكل (2):

- مرور التيّار المتردّد في الملفّات الابتدائيّة ينشئ مجالاً مغناطيسيّاً متغيّراً.
- يقطع الفيض المغناطيسيّ المتغير لفّات الملفّ الثانويّ، فيتولّد فيها - بالحثّ - جهد كهربيّ يعارض التغيّر في شدة المجال المغناطيسيّ واتجاهه
- الجهد المستحث المتولد في الملفّات الثانويّة يسبب تدفق التيّار من هذه الملفّات عندما توصل بحمل ما.





شكل (2): تركيب المحوِّل الكهربائيّ والحثّ المتبادل

نشاط (2): أحضر عينات من أنواع محوّلات كهربائيّة لها قلب حديديّ وآخر فرايت؟ وحدد استخداماتها.

3- استخدامات المحوِّل:

يُستخدم المحوِّل الكهربائيّ لعِدّة أغراض وعِدّة استخدامات، فتجده في معظم الدوائر الكهربائيّة للأجهزة والمُعَدّات الكهربائيّة، كالمُكيّف والغسّالة والمسجّل، وكذلك في لوحات التحكّم الصناعيّة الكهربائيّة، بل إنها باتت تُستخدم في السيارات، وصارت جزءاً أساسيّاً في نظام عمل السيارات، وفيما يأتي بعض أشكال المحوِّلات، شكل (4).



محول ذو جهد متغيّر	محول قابس	محول قدرة
محول لوحات إلكترونيّة	محول مع مخرج DC	محول صوتي

شكل (4): أشكال المحوِّلات الكهربائيّة

4- كيف أحدّد قيمة كلّ من الجهد والتيّار للمحوِّل؟

تعتمد الجهود والتيّارات الداخلة والخارجة من المحوِّل على عدد لفّات الملفّين: الابتدائيّ، والثانويّ، وهي تخضع للقوانين الآتية:

علاقة الجهود بعدد اللفّات تخضع لهذا القانون:

$$\frac{\text{الجهد الابتدائي } (V_p)}{\text{الجهد الثانوي } (V_s)} = \frac{\text{لفات الملف الابتدائي } (N_p)}{\text{لفات الملف الثانوي } (N_s)}$$

أمّا علاقة التيّار بعدد اللفّات، فتخضع لهذا القانون:

$$\frac{\text{التيار في الملف الثانوي } (I_s)}{\text{التيار في الملف الابتدائي } (I_p)} = \frac{\text{لفات الملف الابتدائي } (N_p)}{\text{لفات الملف الثانوي } (N_s)}$$

5- المعادلة الرياضية للمحوِّل الكهربائيّ:

ويرتبط كلّ من جهد وتيّار ملفي المحوِّل الكهربائيّ بعلاقة رياضية مختصرة، يمكن كتابة هذه العلاقة كما يأتي:

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$$

حيث إنَّ:

I_P	التيّار في الملفّ الابتدائيّ
I_S	التيّار في الملفّ الثانويّ
N_P	عدد لفّات الملفّ الابتدائيّ
N_S	عدد لفّات الملفّ الثانويّ
V_P	الجهد على طرفي الملفّ الابتدائيّ
V_S	الجهد على طرفي الملفّ الثانويّ

6- كفاءة المحوِّل:

هي النسبة بين أقصى قدرة يمكن سحبها من الملفّ الثانويّ إلى قدرة الملفّ الابتدائيّ، وهذه النسبة يجب أن لا تقل عن حدّ معيّن، ومن المفضل أن تقترب هذه النسبة من الواحد الصحيح، ولكن هذا لا يحدث إلا في المحوِّلات المثاليّة التى لا يحدث فيها فقد.

$$\text{كفاءة المحوّل} = \frac{V_S \times I_S}{V_P \times I_P} \times 100\%$$

يمكن تعريف المواصفات الفنّيّة للمحوّل بأنّها تلك الخصائص الَّتي تُميِّزه عن أيّ محوّل آخر، وأهمّ هذه المواصفات:

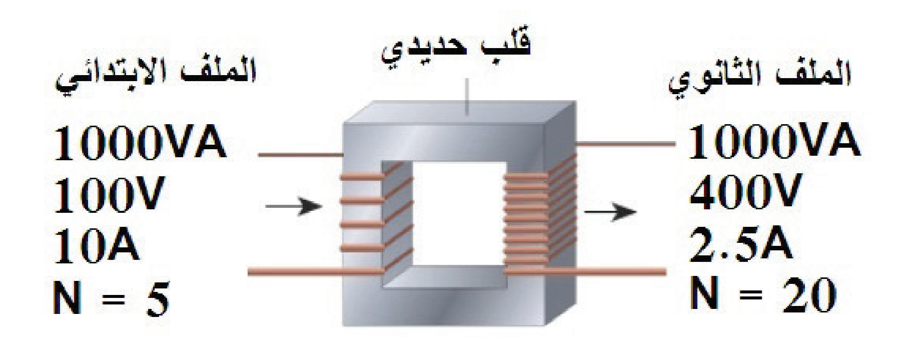
- **جهد الطرف الابتدائيّ:** هو الجهد الذي يمكن توصيله بالملفّ الابتدائيّ دون أن يحدث ضرر لذلك الملف.
- **جهد الطرف الثانويّ:** هو الجهد الذي يظهر على الطرف الثاني عند تغذية الطرف الابتدائيّ بالجهد المقرر.
- **التيّار الثانويّ الأقصى:** هو أقصى تيّار ممكن للحمل أن يسحبه من الملفّ الثانويّ دون أن يتمّ إتلافه.
- **سعة المحوِّل:** تعطى القدرة المقرّرة لمحوّلات القدرة بوحدة (الفولت. أمبير) (VA) أو مضاعفاتها.

سؤال: ما الفرق ما بين الوات (W) والقيمة فولت أمبير (VA)؟

7- أنواع المحوِّلات واستخداماتها:

أ- محوّلات رافعة للجهد (Step Up Transformer):

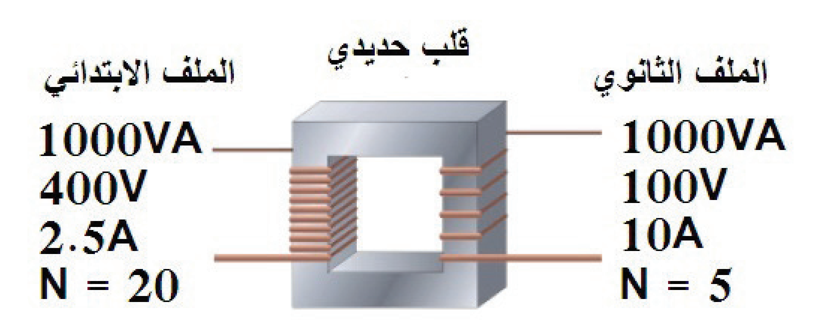
وهي المحوِّلات الَّتي يكون الجهد في ملفها الثانويّ أكبر من الجهد في الملفّ الابتدائيّ، ويكون فيه عدد لفّات الملفّ الثانويّ أكثر من ملفّات الملفّ الابتدائيّ، وقيمة الجهد فيه تعتمد على عدد اللفّات في كلّ من الملفّين، كما هو موضَّح في الشكل (5).



شكل (5): محوّل رافع للجهد

ب- محوّلات خافضة للجهد (Step Down Transformer):

وهي المحوِّلات الَّتي يكون الجهد في ملفها الثانويّ أقل من الجهد في الملفّ الابتدائيّ، ويكون فيه عدد لفّات الملفّ الثانويّ أقل من ملفّات الملفّ الابتدائيّ، وقيمة الجهد فيه تعتمد على عدد اللفّات في كلّ من الملفّين، كما هو موضَّح في الشكل (6).



شكل (6): محوّل خافض للجهد

ملاحظة: تُعَدّ المحوِّلات الكهربائيّة ذات كفاءة عالية جدّاً، حيث إنَّها قد تصل إلى (99%)، وقد اعتبرت المحوِّلات أعلاه محوّلات مثاليّة (أي ليس هناك خسائر فيها، لماذا؟).

نشاط (3): ابحث في الشبكة العنكبوتية عن الخسائر في المحوِّلات الكهربائيّة، وأنواعها.

مثال: محوّل (220VAC/12VAC)، عدد لفّات ملفه الابتدائي هي (310 لفة)، ما عدد لفّات ملفه الثانويّ؟

الحلّ: عندما نقول إنّ المحوِّل (220VAC/12VAC)، فذلك يعني أنّ:

الجهد الابتدائيّ = (220VAC).

الجهد الثانويّ = (12VAC).

وعندها نطبّق القانون الآتي:

$$\frac{\text{الجهد الابتدائي}}{\text{الجهد الثانوي}} = \frac{\text{لفات الملف الابتدائي}}{\text{لفات الملف الثانوي}}$$

$$\frac{220}{12} = \frac{310}{\text{لفات الملف الثانوي}}$$

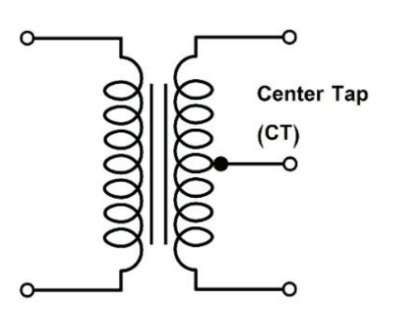
إذن لفات الملف الثانوي = $\frac{310 \times 12}{220}$ = (17) لفة

جـ - محوّلات العزل (Isolation Transformer):

تُعَدّ محوّلات العزل أفضل الوسائل للعزل الكهربائيّ بين دائرتين كهربائيّتين، ففي المحوِّلات العازلة، لا يوجد أيّ اتِّصال كهربائيّ، وإنما الدائرتان متصلتان بعضهما ببعض مغناطيسيّاً.

د- المحوِّلات ذات النقطة الوسطيّة (Center Tap Transformer):

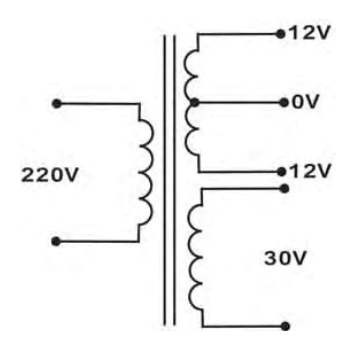
وفيه يكون الملفّ الثانويّ عبارة عن ملفّين ينقسم الجهد الكلّيّ بينهما، ويكون له ثلاثة أطراف، أحد الأطراف مع الطرف الأوسط يعطي نصف الجهد الكلّيّ، والطرفان البعيدان (غير الطرف الأوسط) يعطيان الجهد الكلي، لاحظ الشكل (7).



شكل (7): محوّل ذو نقطة منتصف

هـ - محوّل القدرة (Power Transformer):

يستخدم في مدخل وحدات التغذية في الأجهزة الإلكترونيّة، ويكون من النوع ذي القلب الحديديّ، والهدف منه خفض الجهد العام (220VAC) إلى قيمة مناسبة، وذلك حسب حاجة الجهاز الإلكترونيّ. ويمكن استخدام أكثر من ملفّ ثانويّ، بحيث تخرج من الطرف الثاني للمحوِّل جهود مختلفة، لاحظ الشكل (8).



شكل (8): المحوِّل متعدد الملفات

و- محوّلات القياس (Instrument Transformer): وتشمل الأنواع الآتية:

- محوّل التيّار (Current Transformer): حيث يستخدم محوّل التيّار مع أجهزة قياس التيّار المتناوب بهدف خفض قيمة التيّار المراد قياسه إلى قيمةٍ مناسبةٍ يسهلُ قياسها، شكل (9).



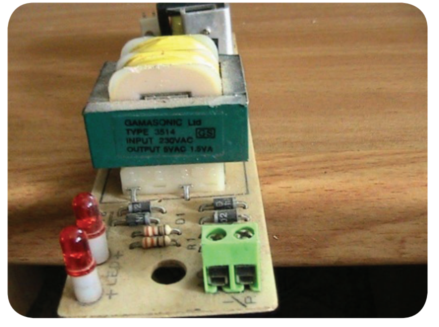
شكل (9): محوّلات تيّار تستعمل لقياس التيّار المرتفع

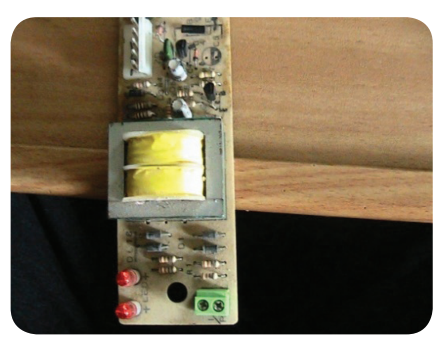
- محوّل الجهد (Voltage Transformer):

وله استخدامات عديدة مع أجهزة الفولتيمتر وأجهزة قياس التردّد وملفّات الجهد لكل من الواتمترات والعدادات وأجهزة قياس معامل القدرة. وأحياناً يستخدم في محطّات المحوّلات الفرعيّة لتغذية مصابيح الإضاءة والإرشاد وأجهزة التحكّم عن بعد.

8- فحص المحوّل:

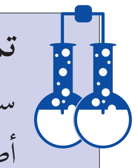
كما مرّ معك سابقاً، يتكوّن المحوّل العاديّ من ملفّين: أحدهما الملفّ الابتدائيّ، والثاني الملفّ الثانويّ. يتمّ قياس قيمة مقاومة الملفّين كلّ على حدة بواسطة جهاز القياس الرقميّ (DMM) بضبطه على إشارة المقاومة، لتحديد قيمة مقاومته، وبالتالي تحديد صلاحيته. يعطى الملفّ الصالح قيمة معينه لقراءة المقاومة أعلى من صفر، وتعتمد قيمة مقاومة الملفّ على عدد اللفّات، ومساحة مقطع السلك المستخدم في لفّ الملفّ، أما إذا ما أعطى الجهاز قيمة قراءة تساوي (صفراً) دل ذلك على وجود قصر بين لفاته، وبالتالي تلفه (وهو ما يُسمّى بعطل قصر الدارة). وإن كانت قيمة مقاومة أيّ من ملفيه مساوية لقيمة (ما لا نهاية)، فإنّ ذلك يدل على وجود قطع في أحد ملفيه، وهو ما يُسمّى بعطل الدائرة المفتوحة. وتكون قيمة مقاومة الملفّ الابتدائيّ للمحوّل الخافض للجهد (مثلاً خفض الجهد من 220V إلى 5V) أكبر بكثير من قيمة مقاومة الملفّ الثانويّ، لاحظ شكل (10).



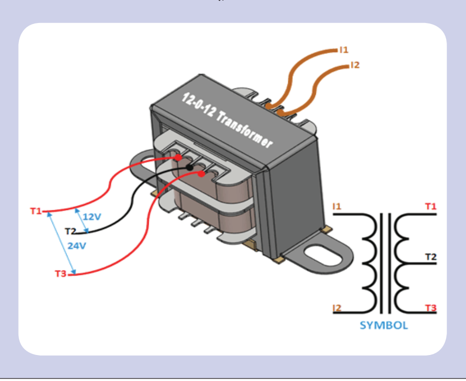


شكل (10): محوّل خافض للجهد مركّب على لوحة مطبوعة بقيمة جهود (220AC/5V)

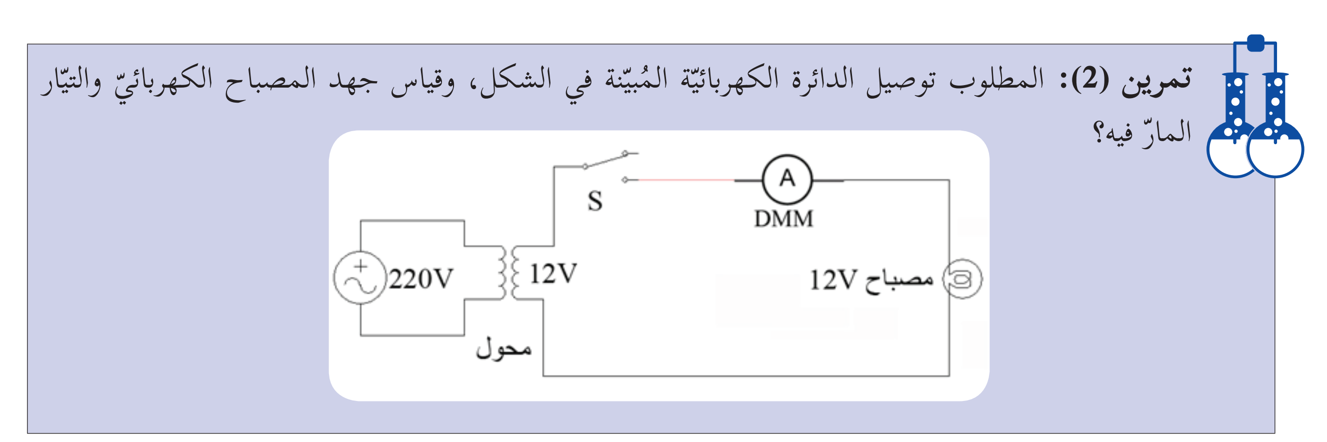




تمرين (1): احصل على محوّل أحاديّ الطور خافض للجهد ذي نقطة وسط (220VAC/2 × 12VAC) سعته (50VA)، قم بتوصيل المحوِّل مع مصدر الجهد تحت إشراف المدرّب، وقياس قيم جهود المحوِّل على أطرافه (الابتدائيّ والثانويّ)، اكتب تقريراً عن ذلك في دفتر التدريب العمليّ، وسجِّل ملاحظاتك.

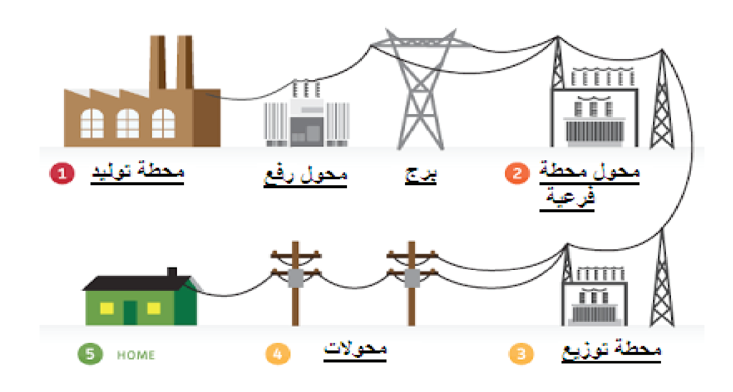


تمرين (2): المطلوب توصيل الدائرة الكهربائيّة المُبيّنة في الشكل، وقياس جهد المصباح الكهربائيّ والتيّار المارّ فيه؟



نشاط (4): أكتب تقريرا عن طرق توصيل المحولات الاحادية الطور وما الفائدة؟

نشاط (5): حاول تفسير الشكل الآتي موضّحاً نوعيّة المحوّلات الكهربائيّة المستخدمة، ومكان وجودها؟

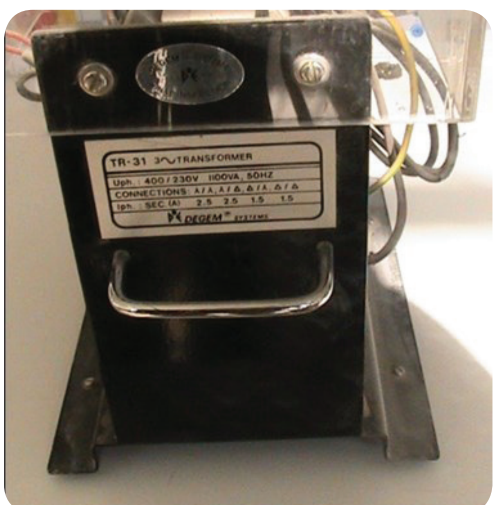


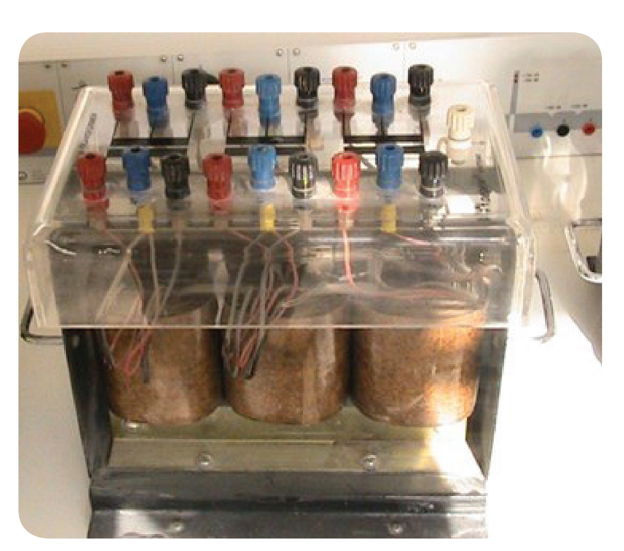
ثانياً- المحوّلات ثلاثيّة الطور (Three Phase Transformer):

يُعدّ المحوِّل الكهربائيّ من الأجهزة الكهربائيّة الَّتي يتمّ بواسطتها نقل القدرة الكهربائيّة المتغيّرة (AC) من دارةٍ إلى أخرى (أو حتى من مكان إلى آخر، كما في نقل الطاقة الكهربائيّة من محطّات التوليد إلى أماكن الاستهلاك)، ويتمّ ذلك عن طريق الحثّ الكهرومغناطيسيّ الذّاتيّ والمتبادل بين ملفيه.

ويمكن تشكيل محوّل ثلاثيّ الطور من جرّاء توصيل ثلاثة محوّلات أحاديّة الطور، شكل (11)، وينتج عن توصيل ملفّات الابتدائيّ الثلاث ستة أطراف، وكذلك الحال بالنسبة لملفّات الثانويّ الثلاث، وهناك عِدّة توصيلات مختلفة مبيَّنة في الجدول (1) التي تعدّ أكثرها شيوعاً، وتشمل ما يأتي:

1- توصيلة ستار - ستار (Star - Star Connection) (Y/Y).
2- توصيلة دلتا - دلتا (Delta - Delta Connection) (Δ/Δ).
3- توصيلة دلتا - ستار (Delta - Star Connection) (Δ/Y).
4- توصيلة ستار - دلتا (Star - Delta Connection) (Y/Δ).





شكل (11): محوّل ثلاثيّ الطور يتكوّن من ثلاثة محوّلات أحاديّة الطور منفصلة

يُبيِّن الجدول (1) أدناه، طرق توصيل أطراف المحوِّل ثلاثيّ الطور الأكثر شيوعاً.

جدول (1): طرق توصيل المحوِّلات ثلاثيّة الطور

الرقم	اسم توصيل المحوِّل ثلاثيّ الطور	الشكل
1	توصيلة ستار ـ ستار (Y/ Y)	
2	توصيلة ستار ـ دلتا (Y /Δ)	
3	توصيلة دلتا ـ دلتا (Δ /Δ)	
4	توصيلة دلتا - ستار (Δ /Y)	

تصمّم المحوّلات وتصنع حسب الحاجة، بحيث تكون قدراتها التحويلية متناسبة مع الأحمال المتّصلة بها، وتعطى سعة المحوّل الرمز (S)، وتساوي حاصل ضرب التيّار في الجهد.

ويمكن إيجاد التيّار الكهربائيّ الذي يمرّ في دارة الابتدائيّ أو الثانويّ من المعادلة الآتية:

في حالة محوّلات الطور الواحد يعطى تيّار الطور بالعلاقة:

$$I_{ph} = \frac{S}{V_{ph}}$$

في حالة محوّلات ثلاثيّة الطور فإنّ تيّار الخط يعطى بالعلاقة:

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3}V_L}$$

تقاس السعة بوحدة الفولت أمبير (VA) إذا كانت سعة المحوّلات صغيرة، أو وحدة الكيلو فولت أمبير (KVA) للمحوّلات متوسطة السعة، بينما تعطى سعة المحوّلات كبيرة الحجم والمستعملة في محطّات التوليد ومحطّات التحويل الرئيسة أو تلك المستخدمة في التوزيع، بوحدة الميجا فولت أمبير (MVA)، التي غالباً ما تكون هذه المحوّلات ثلاثيّة الطور.
ويمكن ذكر اسم المحوّل بدلالة سعته، فنقول محوّل (45MVA)، أو محوّل (1000KVA). وتحدّد سعة المحوّلات بقيم قياسيّة عالميّة متعارف عليها وموثّقة في القياسات العالميّة مثل: (IEC) العالميّة و (BS) البريطانيّة و (ANSI) الأمريكيّة، وتكتب سعة المحوّل على اللّوحة الاسميّة للمحوّل (Name Plate).

نشاط (6): حاول الحصول على محوّل ثلاثيّ الطور صغير الحجم (كالمبيّن في الشكل أدناه)، ثم بيّن كيف يتمّ فحص ملفاته للتأكُّد من صلاحيته، ثم فسر بيانات اللّوحة الاسميّة له.



ثالثاً- تشخيص أعطال المحوِّلات (Transformer Diagnostic):

تتعرّض المحوِّلات الكهربائيّة بنوعيها أحاديّة الطور وثلاثيّة الطور إلى أعطال قد تكون متشابهة إلى حدّ ما، ينتج بعض منها عن انهيار العازل ما بين كلّ من الملفّ الابتدائيّ والملفّ الثانويّ، أو ما بين لفّات الملفّ الابتدائيّ أو الثانويّ نفسها، ويعود السبب في ذلك في معظم الأوقات إلى ارتفاع درجة حرارة الملفّات؛ الأمر الذي يؤدّي إلى عدم تحمل العازل المحيط بهذه الأسلاك؛ مما يؤدّي إلى تلف الملفات، وقد يعود السبب أيضاً عن سوء استخدام المحوِّل نتيجة تعريض ملفاته إلى جهد أكبر من الجهد الذي صمم عليه، أو حتى إلى زيادة تحميل المحوِّل عن الحد المسموح به؛ مما يؤدّي إلى مرور تيّار أكبر من القيمة المسموح بها. وأيّاً كان السبب في ذلك، فلا بد للفني أن يلم بطريقة إجراء الصيانة اللازمة للمحوِّل، كما أنه لا بد من أن يتعرف على أسباب حدوث تلك الأعطال وتفاديها إن أمكن. والجدول (2) يوضّح معظم الأعطال الَّتي قد تحدث للمحوِّل أحاديّ الطور وكيفيّة إصلاحها.

جدول (2): أعطال المحوِّلات أحاديّة الطور، وأسبابها، وطريقة إصلاحها

الرقم	العطل	السبب	الإصلاح
1	ارتفاع درجة حرارة المحوِّل.	* ارتفاع قيمة جهد الدخل. * تلامس بين الملفات. * تلامس بين الملفّات وجسم المحوِّل. * تحميل زائد للمحوِّل.	* تعديل قيمة جهد الدخل. * إزالة التلامس بين الملفات. * إزالة التلامس بيم الملفّات وجسم المحوِّل. * تحميل مناسب للمحوِّل.
2	عدم وجود جهد خرج على طرفي المحوِّل.	* انقطاع التيّار عن الملف. * قطع في احد الملفّات أو كلاهما. * تلف في المحوِّل.	* التأكد من جهد المصدر. * إزالة القطع في الملف. * إعادة لفّ المحوِّل.
3	المحوِّل يعمل بصوت مرتفع.	* تفكك في شرائح القلب الحديديّ. * ارتفاع جهد الدخل.	* ضغط شرائح القلب بشكل محكم. * تعديل جهد الدخل.
4	قيمة جهد الخرج غير دقيقة.	* زيادة جهد الملفّ الابتدائيّ. * انخفاض جهد الملفّ الابتدائيّ.	* تعديل قيمة جهد الابتدائيّ.

4 - 3 الموقف التعليميّ الثالث: صيانة مكوّنات دوائر مغذّيات الطاقة التقليديّة وإصلاحها

وصف الموقف التعليميّ التّعلّميّ:

حضر صاحب محل ومعه جهاز تسجيل الكاميرات إلى مؤسسة صيانة الآلات الصناعيّة يحمل جهازاً كهربائيّاً يعطي جهداً مستمرّاً مقداره (24V)، وطلب إصلاح مغذّي الطاقة الخاص بالجهاز، الذي يعاني من عطل ما، مع العلم أنّ الجهد الكهربائيّ من المزوّد هو (220V).

العمل الكامل:

خطوات العمل	وصف الموقف الصّفّيّ	المنهجيّة (إستراتيجيّة التّعلّم)	الموارد حسب الموقف الصّفّيّ
أجمع البيانات، وأحلّلها	• أجمع البيانات من صاحب المحل عن: - طبيعة الخلل في المغذّي. - هل تمّ عرض الجهاز على ورشة صيانة سابقة؟ • أجمع بيانات عن: - أشكال الديودات العاديّة. - مبدأ عمل الديود العاديّ. - المواصفات الفنّيّة للديود العاديّ. - آليّة فحص أطراف الديود العاديّ، وتحديدها. - آليّة توصيل الديود العاديّ، وتشغيله. - قنطرة التوحيد وطريقة فحصها. - دوائر الترشيح واستخداماتها.	• التّعلّم التعاونيّ. • البحث العلميّ. • الحوار والمناقشة.	• الشبكة العنكبوتية. • فيديوهات تعليميّة. • كتيّب مواصفات فنّيّة لعدة ديودات.
أخطّط، وأقرّر	• أصنف البيانات، وتبويبها. • أحدد جدول زمنيّ؛ لتنفيذ المهمة. • اختيار ديود عادي ذي مواصفات مناسبة للمهمة • تحديد جدول تكلفة للمهمة. • تحديد العدد المناسبة؛ لتنفيذ العمل.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• قرطاسيّة. • كتالوج مواصفات فنّيّة لعدد من الديودات. • نموذج جدول زمنيّ. • نموذج جدول تكلفة.

أنفذ	• استخدام أدوات السلامة المهنيّة، تبعاً للمعايير الفنّيّة ذات الصلة. • البدء بعمليّة استكشاف المراحل المسؤولة عن تشغيل الجهاز. • تحديد أقطاب الديود المختار مسبقاً. • التأكد من صلاحِيَة الديود. • توصيل الجهاز بالكهرباء وتشغيله.	• التّعلّم التعاونيّ. • البحث العلميّ. • الحوار والمناقشة.	• صندوق عِدّة يدوية. • أسلاك توصيل. • جهاز قياس رقميّ (DMM). • عدد من الديودات العاديّة. • دوائر ترشيح.
أتحقّق	• تشغيل الجهاز الخاص بالزبون، والتّحقّق من عمله جيداً.	• التّعلّم التعاونيّ.	• أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة. • وثائق.
أوثّق، وأقدّم	• إنشاء قوائم خاصّة بالعِدَد اليدويّة ووسائل القياس المستخدمة. • تحديد جدول زمنيّ للتسليم. • تسليم قوائم العمل لمسؤول الصيانة. • فتح ملفّ بالحالة.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• جهاز حاسوب. • جهاز عرض. • قرطاسيّة.
أقوم	• رضى صاحب المحل بما يتفق مع طلبه. • المطابقة مع المواصفات والمعايير.	• الحوار والمناقشة. • البحث العلميّ.	• نماذج التقويم. • طلب الزبون.

الاسئلة:

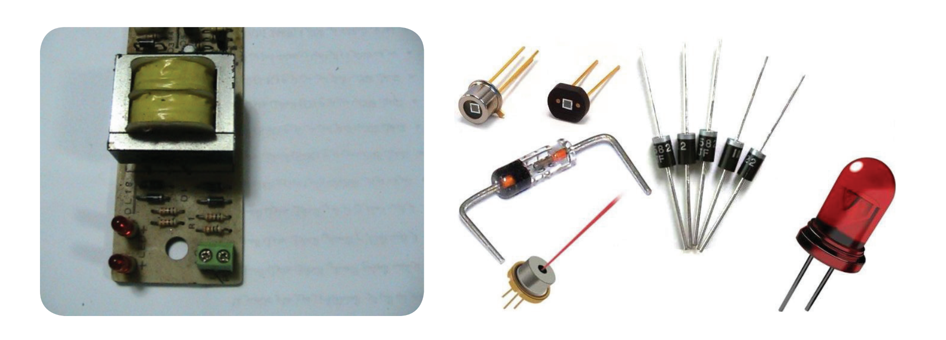
1 أوضح وظيفة مغذّي الطاقة في الأجهزة الكهربائيّة المختلفة؟

2 أوضِّح المقصود بالديود وتركيبه واستخداماته.

3 أوضِّح آليّة التأكد من صلاحِيَة الديود.

4 أوضِّح مكوّنات مغذّي طاقة تقليديّ، وفسِّر بعض المشاكل الَّتي قد تحدث به.

أتعلّم:

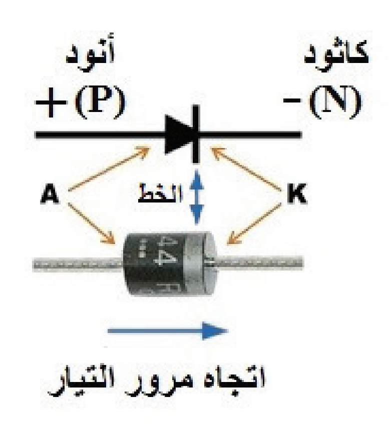


نشاط (1): اكتب تقريراً لا يتجاوز ورقتين عن المواد شبه الموصلة من ناحية أهم خصائصها، وتركيبها، ومساهمتها في الثورة الصناعيّة في مجال الإلكترونيّات.

أولاً- الديودات (Diodes):

الديود (Diode): هو عنصر كهربائيّ فعّال له طرفان (مصعد، مهبط) يسمح بمرور التيّار في اتجاه واحد، ويمنع التيّار من المرور في الاتجاه المعاكس، حيث يعمل الديود على توصيل التيّار عند تشغيله على حالة الانحياز الأماميّ، بينما لا يسمح بمرور التيّار في حالة الانحياز العكسيّ.

ويستخدم في تصنيعه أيّ من العنصرين السليكون (Si) أو الجرمانيوم (Ge)، ويمتاز هذا العنصر بأنه يُمرّر التيّار الكهربائيّ في اتجاه واحد فقط، حيث تكون مقاومته قليلة جدّاً في حالة الانحياز الأماميّ (Forward Bias)، ولا يُمرّر التيّار الكهربائيّ في الاتجاه المعاكس في حالة الانحياز العكسيّ (Revers Bias)؛ لأن مقاومته في هذه الحالة تقرب من ما لا نهاية، ويشار له بالرمز (D)، كما هو مبيّن في الشكل (1).

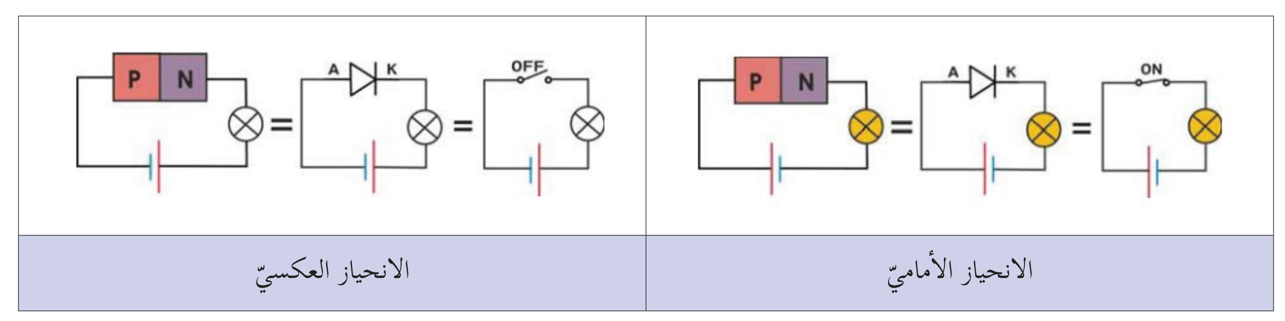


شكل (1): شكل الديود شبه الموصل ورمزه



1- تركيب الديود:

يتركّب الديود في الأساس من شريحتين من مادة شبه موصلة، واحدة من الشريحتين موجبة (P)، ويُسمّى الطرف الموصول بها بالأنود، ويرمز له بالحرف (A). بينما يُسمّى الطرف الآخر الموصول بالشريحة السالبة (N) بالكاثود، ويرمز له بالرمز (K)، كما هو مبيّن في الشكل (2)، بالإضافة لذلك، تسمى الوصلة الناتجة من الشريحتين بالوصلة (P-N)، ويوضّح الشكل كذلك مناطق عمل الديود في كلّ من حالتي الانحياز الأماميّ والانحياز العكسيّ للديود، حيث يعمل الديود كمفتاح مغلق في حالة الانحياز الأماميّ، أيّ عندما يتمّ توصيل المهبط بالطرف السالب للبطّاريّة، وكذلك توصيل المصعد بالطرف الموجب لها، بينما يعمل كمفتاح مفتوح في حالة الانحياز العكسيّ، عندما يتمّ عكس طرفي الديود بالنسبة لمصدر الجهد. ويطبع رمز الديود على جسم الديود بالنسبة للديودات كبيرة الحجم؛ ليوضِّح أقطابه (الأنود والكاثود). أما بالنسبة للديودات الأصغر حجماً، فهناك حلقة بيضاء حول إحدى نهايتيه تدلّ على الكاثود.



شكل (2): حالات عمل الديود - الانحياز الأماميّ والانحياز العكسيّ

2- ديود الأغراض العامّة:

يستخدم في التطبيقات العامّة ذات التردّدات المنخفضة (50/60Hz)، وبالتالي يستعمل في دوائر التوحيد (Bridge Rectifier) لتحويل الجهد المتردّد إلى الجهد المستمرّ، ومتوفر بأسعار زهيدة نسبياً، وله مقرّرات جهد وتيّار تصل إلى عِدّة آلاف من الأمبير والفولت (5KV، 5KA)، وتصل سرعته التبديليّة إلى (trr = 25μs). ويُبيِّن الشكل (3) عِدّة أشكال من ديودات الأغراض العامّة.



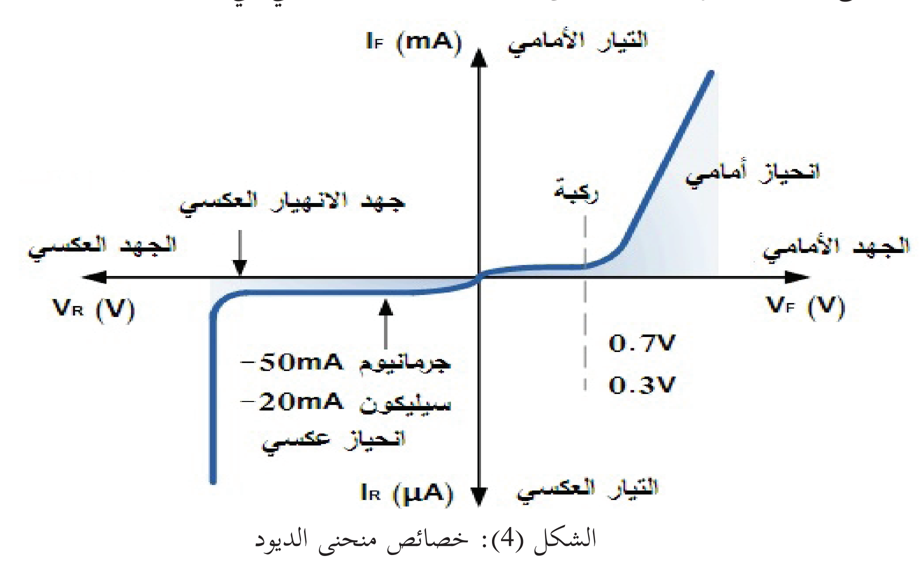
شكل (3): أشكال مختلفة من ديود الأغراض العامّة

نشاط (2): ابحث عن مواصفات الديود حامل الرقم (1N4001) في شبكة الانترنت؟

3- المواصفات الفنِّيَّة للديود: شكل (4).

من أهم المواصفات الفنِّيَّة للديود الَّتي يجب مراعاتها عند استبدال ديود تالف في دارة ما أو عند اختيار ديود لاستخدامه في دارة معينة كما يأتي:

- **التيّار الأماميّ (I_F):** وهو أقصى تيّار يمكن أن يمرّره الديود في حالة الانحياز الأماميّ دون أن يتلف.
- **الجهد العكسيّ الأقصى (V_R):** هو أقصى جهد يمكن أن يتحمّله الديود في حالة الانحياز العكسيّ قبل أن ينهار، ويبدأ بتمرير التيّار الذي يؤدّي إلى تلفه.
- **السرعة التبديليّة للديود:** يعمل الديود ذو الأغراض العامّة (1N4001) جيداً لغاية تردّدات منخفضة، ولكن لتردّد أكبر من (50KHz) يجب اختيار ديودات خاصّة تسمى الديودات سريعة التبديل (الاستعادة) مثل الديود (1N4148) .
- **القدرة على تبديد الحرارة** الناتجة عن مرور تيّار الانحياز الأماميّ في الديود.



الشكل (4): خصائص منحنى الديود

ويُبيِّن الشكل (5)، المواصفات الفنِّيَّة لبعض أنواع الديودات.

Symbol	Parameter	Value							Unit
		1N 4001	1N 4002	1N 4003	1N 4004	1N 4005	1N 4006	1N 4007	
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
$I_{F(AV)}$	Average Rectified Forward Current .375 " Lead Length at T_A = 75°C	1.0							A

شكل (5): المواصفات الفنِّيَّة لبعض أنواع الديودات

4- اختبار صلاحية الديود:

يمكن اختبار الديود باستخدام جهاز الأومميتر على النحو الآتي:

- تحديد أطراف الديود، حيث يتمّ تحديد طرف الديود الأقرب إلى الحلقة البيضاء فيكون الكاثود، والطرف الآخر يكون الأنود.
- ضبط جهاز القياس (DMM) على إشارة الديود.
- ملامسة طرف جهاز القياس الأحمر (+) على الأنود (A) والطرف الأسود (-) على الكاثود (K)، وهذا يُسمّى انحيازاً أماميّاً، وتظهر قراءة على شاشة الجهاز (0.523V).
- بدل طرفي الجهاز، ولاحظ وجود قراءة عالية (ما لا نهاية (OL))، وتسمى انحيازاً عكسيّاً، وبذلك يكون الديود سليماً، كما في الشكل (5).



مقاومة عالية (انحياز عكسيّ)	مقاومة منخفضة (انحياز أمامي)

شكل (5): فحص صلاحية الديود باستخدام جهاز (DMM)

5- أعطال الديودات:

ليس من السهل دائماً التأكد من أن الديود معطوب، إلا إن كان هناك إشارة تدلّ على ذلك كالحرق أو الفصل الظاهر، إلا أنه في معظم الحالات يقع العطب في صورة:

- دارة مفتوحة.
- دارة القصر للديود.

وبالتالي لا يمكن الجزم بأن الديود معطوب إلا بفصله عن اللَّوحة (أو على الأقل فصل طرف واحد)، ومن ثم التأكد من ذلك عن طريق فحص الديود باستخدام جهاز القياس الرقميّ (DMM).



تمرين (1): اختر عدداً من الديودات المنفردة حسب المتوفر في مشغلك، ثم قم بفحص مجموعة من الديودات بواسطة جهاز الـ (DMM) على إشارة الديود، وسجل النتائج في دفتر التدريب العمليّ؟

ثانياً- استخدامات الديودات ذات الأغراض العامّة في دوائر توحيد التيّار المتردّد:

إن من الطبيعي أن يحتوي كلّ جهاز إلكترونيّ على مغذّي طاقة بغرض تزويد أجزاء الجهاز الداخليّة بمصدر الطاقة المستمرّ الذي يحتاجه للعمل، ومن هنا تنبع أهمِّيَّة معرفة جميع مراحل عمل مغذّيات الطاقة التقليديّة.

1- المقوّمات/ الموحّدات باستخدام الديودات (Rectifiers):

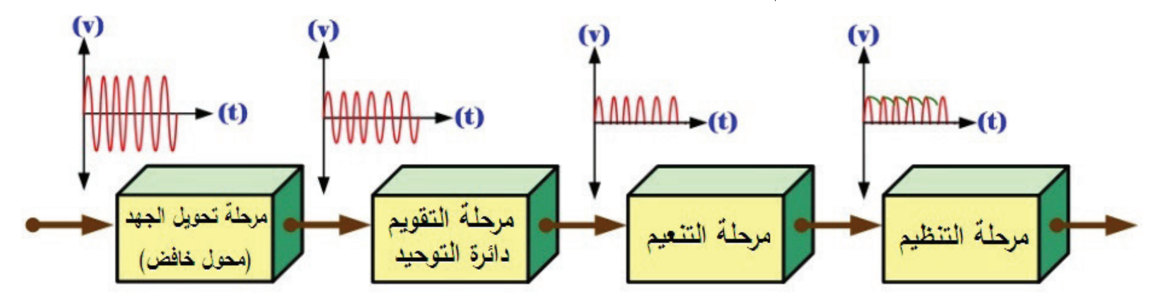
يمكن أن تستخدم الديودات في تحويل الجهد المتردّد إلى جهد مستمرّ، وعندها يطلق في كثير من الأحوال لفظة المقوّم على الديود؛ نظراً لأنه يقوّم الموجة المتردّدة، أيّ يحوّلها من موجة متغيّرة إلى موجة مستمرّة، وهذا الأمر يستخدم بكثرة في دوائر مغذّيات الطاقة الّتي تقوم بتحويل التيّار المتردّد (AC) الداخل إلى تيّار مستمرّ (DC) في الأجهزة الكهربائيّة والإلكترونيّة.

المقومات: عبارة عن الديودات الّتي تستخدم في تحويل التيّار المتردّد إلى تيّار مستمرّ، وتستعمل بكثرة في دوائر مغذّيات الطاقة التقليديّة والمفتاحية.

وقد تحتوي دوائر التقويم على كلّ أو بعض الأجزاء الآتية:

- **محوّل خافض للجهد:** ويستخدم لخفض جهد مصدر التغذية المتردّد (220VAC) إلى الجهد المناسب.
- **دائرة التقويم (Rectifiers):** تقوم بتوحيد اتجاه التيّار الكهربائيّ في اتجاه واحد فقط ومتغيّر القيمة، وفي هذه المرحلة يتمّ تحويل الجهد المتردّد (AC) إلى جهد نبضات؛ أيّ أنصاف موجات جيبية متتالية.
- **دائرة الترشيح/ التنعيم (Smoothing):** تستخدم لتقليل التموّجات الناتجة عن دارة التقويم؛ لكي تصبح الإشارة أقرب إلى الخط المستقيم (إلى جهد مستمرّ وناعم).
- **منظّم الجهد (Regulation):** عبارة عن دائرة متكاملة تعمل على تثبيت جهد الخرج عند حدّ معيّن عندما نحتاج جهود خرج ثابتة ودقيقة.

ويُبيِّن الشكل (6) مكوّنات دارات التقويم، وأشكال موجات الجهد، أو التيّار الداخلة والخارجة منها.



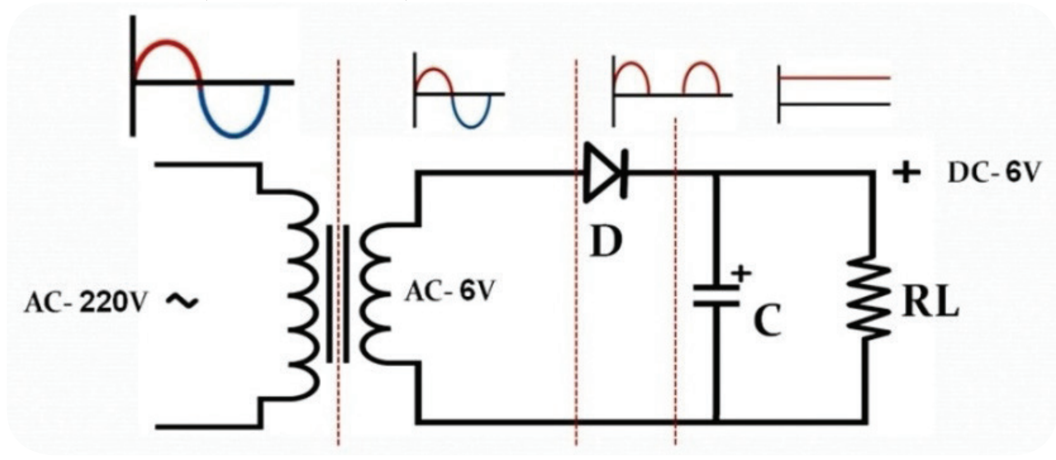
شكل (6): مكوّنات دارات التقويم وأشكال موجات الجهد (التيّار) الداخلة والخارجة منها

2- أنواع دوائر التقويم:

أ- تقويم نصف الموجة (Half - Wave Rectifier):

يستخدم في هذه الحالة ديود واحد يتمّ ربطه مع مصدر الجهد المتردّد، كما في الشكل (7).

- **خلال نصف الموجة الموجبة:** يقوم الديود بتمرير التيّار الكهربائيّ في اتجاه واحد فقط.
- **خلال نصف الموجة السالبة:** لا يُمرّر الديود التيّار الكهربائيّ (الانحياز العكسيّ).



شكل (7): تقويم نصف الموجة وأشكال الموجات الداخلة والخارجة

ويمكن حساب القيمة المتوسّطة للجهد المستمرّ الخارج (V_{DC}) على الحمل حسب العلاقة الآتية:

$$V_{DC} = 0.45 \times V_{S(RMS)} = 0.318\ V_{max}$$

حيث إنَّ:

V_{DC}	القيمة المتوسّطة للجهد المستمرّ الخارج.
$V_{S\ (RMS)}$	القيمة الفعّالة للجهد المتناوب على طرفي الملفّ الثانويّ للمحوِّل.

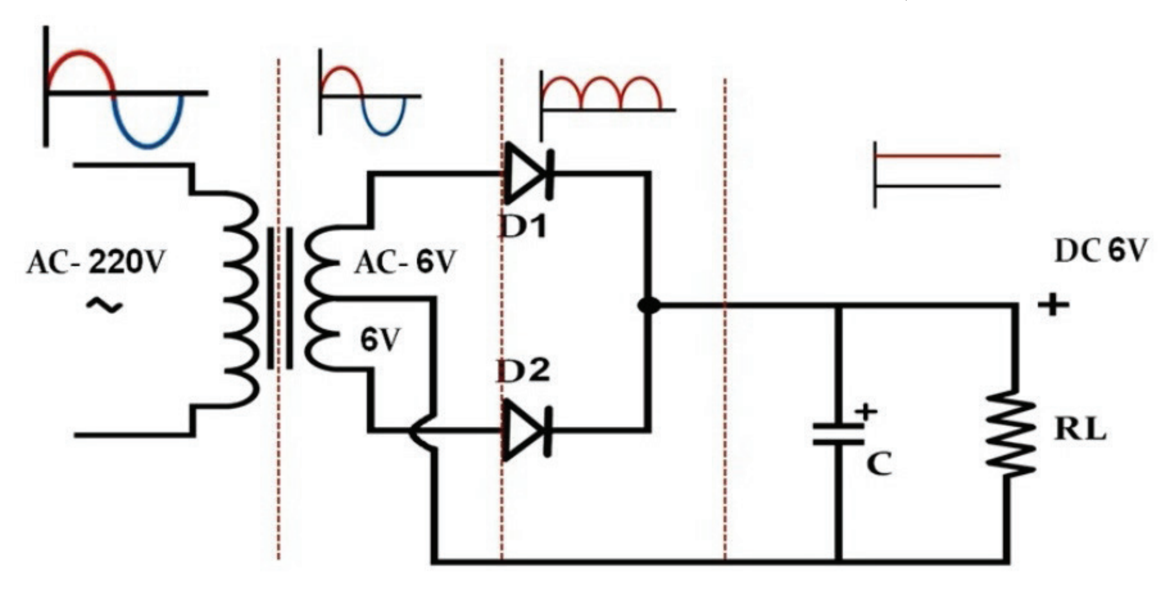
يتبيّن من العلاقة أن قيمة الجهد المستمرّ الخارج من دائرة تقويم نصف الموجة تساوي (45%) من الجهد المتناوب الداخل. ويجب ملاحظة أن هناك هبوطاً في الجهد على طرفي الديود يساوي (0.7V) في حالة ديود السيلكون؛ وبالتالي فإنّ الجهد المستمرّ على طرفي الحمل يقل بمقدار (0.7V)، وعند استخدام مكثّف كدارة ترشيح، فإنّ ذلك يؤدّي إلى زيادة تنعيم إشارة الجهد الواصلة إلى الحمل، وبالتالي تقليل التموّج فيها.

- **استخدامات دوائر تقويم نصف الموجة:** تستخدم في دوائر القدح ومولّدات النبضات ودوائر شحن البطّاريّات، حيث إنَّ جهد الخرج لهذه الدارات يكون على شكل نبضات لها نفس تردّد جهد التغذية.

ب- تقويم الموجة الكاملة باستخدام ديودين ومحول ذي نقطة وسط (Full - Wave Rectifier):

يستخدم في هذه الحالة ديودان ومحول ذو نقطة وسط، كما في الشكل (8).

- **خلال نصف الموجة الموجبة:** يكون الديود (D1) في حالة انحياز أمامي، ويسمح بمرور نصف الموجة الموجب إلى مقاومة الحمل، في ذلك الحين يكون الديود (D2) في حالة انحياز عكسيّ.
- **خلال نصف الموجة السالب:** يكون الديود (D2) في حالة انحياز أمامي، ويسمح بمرور نصف الموجة السالب إلى مقاومة الحمل بنفس الكيفيّة، وفي نفس الاتجاه التى مرّ بها النصف الموجب، في ذلك الحين يكون الديود (D1) في حالة انحياز عكسيّ، وبذلك يمرّ في مقاومة الحمل أنصاف موجات موجبة متتالية لا ينقصها عن الجهد المستمرّ إلا ثبات قيمتها.



شكل (8): تقويم موجة كاملة بمحول خفض ذي نقطة وسط وديودين وأشكال الموجات الداخلة والخارجة

ويمكن حساب القيمة المتوسّطة للجهد المستمرّ الخرج (V_{DC}) على الحمل حسب العلاقة الآتية:

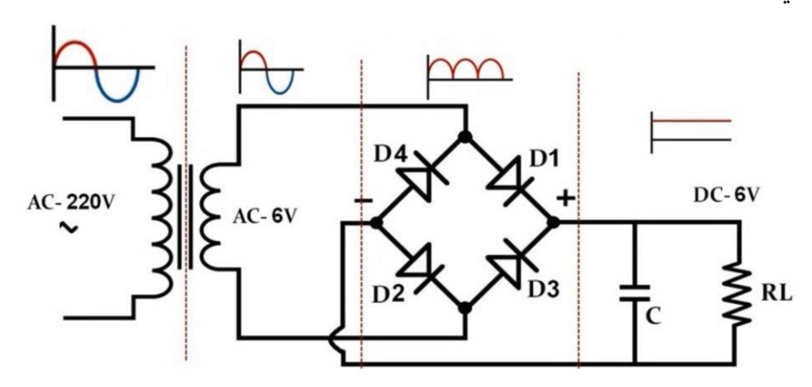
$$V_{DC} = 0.90 \times V_{S(RMS)} = 0.636\ V_{max}$$

من هذه العلاقة يتبيّن أن قيمة الجهد المستمرّ الخرج من دائرة تقويم الموجة الكاملة تساوي (90%) من الجهد المتناوب الداخل.

ج- تقويم الموجة الكاملة باستخدام 4 ديودات (Full - Wave Rectifier):

يستخدم في هذه الحالة 4 ديودات، وتسمى بقنطرة التقويم أو البريدج (Diodes Bridge Rectifier)، كما في الشكل (9).

- **خلال نصف الموجة الموجبة:** يكون الديود (D1) و (D2) في حالة انحياز أمامي، ويسمح بمرور نصف الموجة الموجب إلى مقاومة الحمل، في ذلك الحين يكون الديود (D3) و (D4) في حالة انحياز عكسيّ، فيمرّ التيّار الكهربائيّ من المحوّل إلى (D1) إلى المقاومة، ويعود من خلال (D2) إلى المصدر.
- **خلال نصف الموجة السالب:** يكون الديود (D3) و (D4) في حالة انحياز أمامي، ويسمح بمرور نصف الموجة الموجب إلى مقاومة الحمل، في ذلك الحين يكون الديود (D1) و (D2) في حالة انحياز عكسيّ، فيمر التيّار الكهربائيّ من المحوّل إلى (D3) إلى المقاومة، ويعود من خلال (D4) إلى المصدر.

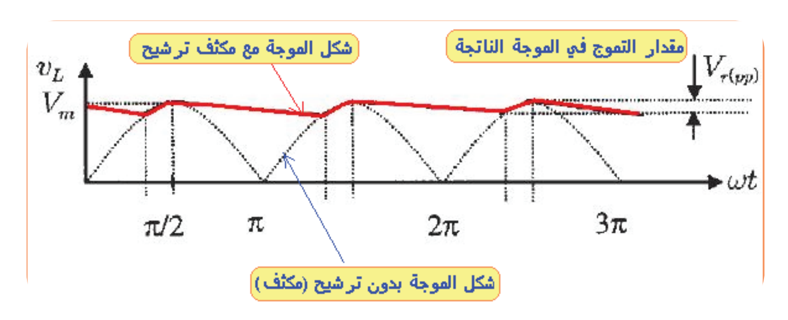


شكل (9): تقويم الموجة الكاملة باستخدام 4 ديودات وأشكال الموجات الداخلة والخارجة

ويمكن حساب القيمة المتوسِّطة للجهد المستمرّ الخرج (V_{DC}) على الحمل حسب العلاقة الآتية:

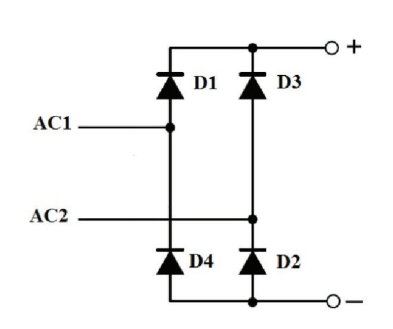
$$V_{DC} = 0.90 \times V_{S(RMS)} = 0.636\ V_{max}$$

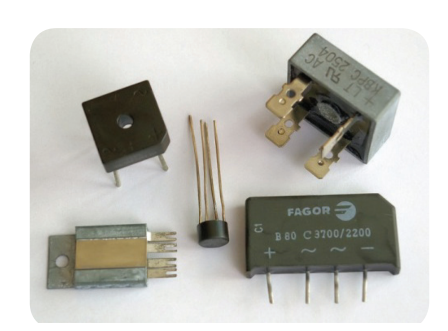
من هذه العلاقة يتبيّن أن قيمة الجهد المستمرّ الخرج من دائرة تقويم الموجة الكاملة تساوي (90%) من الجهد المتناوب الداخل. ويستخدم عادة مكثّف يتمّ توصيله على التوازي مع الحمل، وذلك لتقليل التموج الناتج؛ ولكي تصب في محاولة تنعيم الإشارة الناتجة لكي تصبح أنعم، وبالتالي أقرب من كونها موجة تيّار مستمرّ، كما في الشكل (10).



شكل (10): شكل الموجة الخارجة من مقوم موجة كاملة أحاديّة الطور قبل الترشيح وبعده

والشكل (11) يُبيِّن قنطرة التقويم، وهي تأتي بأشكال وأحجام متفاوتة، ولها أرقام يمكن من خلالها التعرف على الداتا شيت (Data Sheet) الخاص بها، حيث يخرج منها (4) أطراف، طرفان منهما للتوصيل مع مصدر الجهد المتردّد (AC)، ويرمز لهما بالرمز (~)، أما الطرفان الآخران فيرمز لهما بالرمز (+) للطرف الموجب، والرمز (-) للطرف السالب للقنطرة، اللذين يتصلان بالحمل المستمرّ.



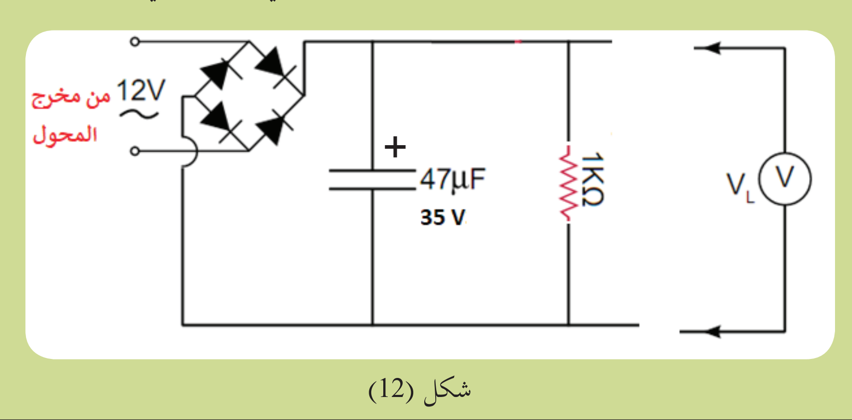


شكل (11): قنطرة التقويم (Bridge)

ملاحظات:

- ترسم قنطرة التقويم بطرق كثيرة، ولكي نتفادى حدوث الخطأ عند توصيل الديودات الأربعة؛ فإننا يجب أن نتذكر دائماً أن اتجاهات الأسهم كلها تشير إلى الطرف الموجب للخرج، وأن كلّ ديودين متقابلين موصولين بنفس الاتجاه.
- أطراف قنطرة التقويم مربّعة الشكل، يكتب على أحد الأطراف إشار (+)، فيكون الطرف القطري المقابل له هو الطرف السالب (-).

تمرين (2): اختر عدداً من الديودات المنفردة كما تعلمت سابقاً، وكذلك محوّل أحاديّ الطور (220VAC/2 × 12VAC) حسب المتوفر في مشغلك، ثم قم بتركيب الدائرة المُبيّنة في الشكل (12) على لوحة مثقبة، قم بقياس قيمة الجهد على طرفي المقاومة (الحمل)، وسجل النتائج في دفتر التدريب العمليّ، ثم استبدل المكثّف بآخر أقل سعة، ثم بآخر ذي سعة أكبر، قم بقياس قيمة الجهد على طرفي المقاومة في كلّ حالة وسجِّل ملاحظاتك.



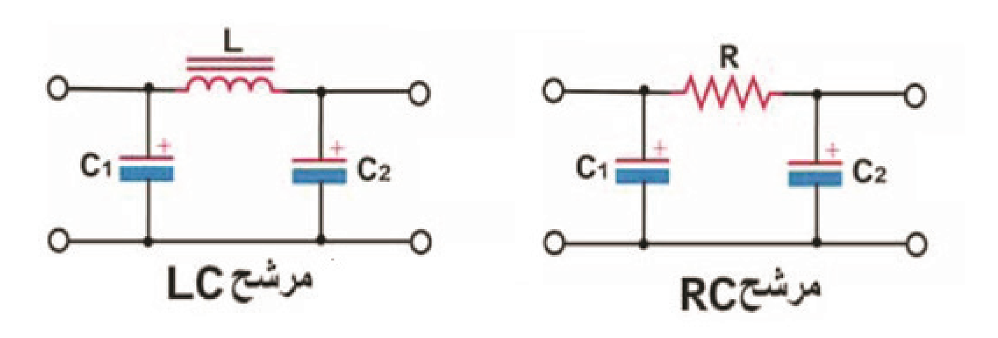
شكل (12)

نشاط (3): حاول بمساعدة مشرفك توصيل جهاز راسم الإشارة على طرفي المقاومة في الدائرة السابقة، ومشاهدة شكل الإشارة (على شاشة جهاز راسم الإشارة) بوضع أطراف الجهاز مخرج المحوِّل، وكذلك على طرفي المقاومة قبل توصيل المكثّف وبعده. سجل ملاحظاتك.

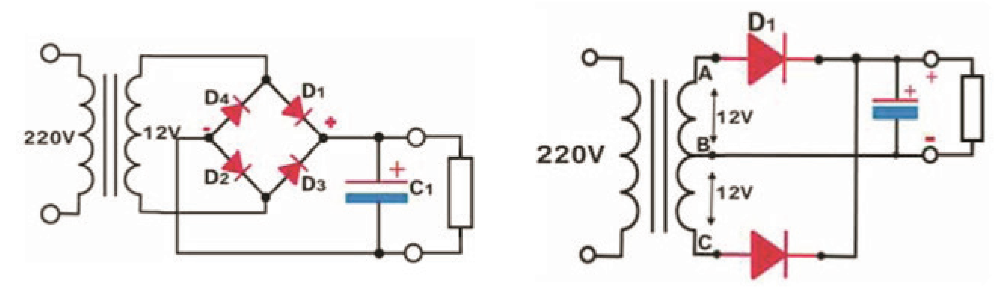
3- دوائر التنعيم (المُرَشّحات) (Smothing):

في أبسط أشكال المُرَشّح توصيل مكثّف بين طرفي خرج دارة التقويم يعمل على الشحن والتفريغ للتيّار، ويستمر في التفريغ إلى أن تصل موجة أخرى، حيث يبدأ بالشحن مرة أخرى، وهكذا نلاحظ أن المكثّف يحاول الحفاظ على الجهد عند مستوى ثابت.

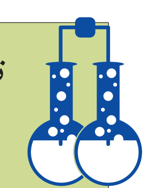
إن الشحن والتفريغ الطفيف للمواسع ينتج عنه جهد متموِّج، حيث إنَّه كلما كانت سعة المكثّف أعلى كان التموج أقل، وكان الترشيح أفضل. ويوجد أنواع مُرَشّحات تستخدم أكثر من مكثّف واحد تسمى المُرَشّح (RC)، وأخرى تستخدم بالإضافة إلى المكثّف ملفّ وتسمى مُرَشّح (LC) كما في الشكل (13). وفي دارة تقويم موجة كاملة باستخدام ديودين ومحول نقطة منتصف يتمّ توصيل دارة الترشيح كما في الشكل (14).



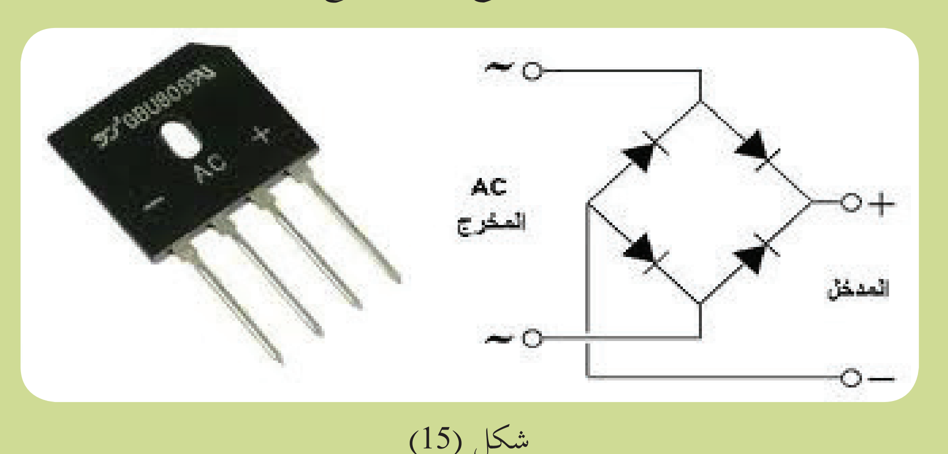
شكل (13): دارة مُرَشّح (RC) و (LC)



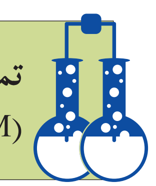
شكل (14): دائرة التنعيم مع دارة تقويم موجة كاملة



تمرين (3): أعد إجراء التمرين رقم (2) السابق باستخدام القنطرة المُبيّنة في الشكل (15)، مع توصيل أحد أنواع دوائر الترشيح.



شكل (15)



تمرين (4): اختر أشكالاً مختلفة من قنطرة تقويم كاملة أحاديّة الطور، وقم بفحصها باستخدام جهاز (DMM)، ثم كون جدولاً بطريقة الفحص والنتائج.

4- الديودات الخاصّة:

هناك أنواع عِدّة من الديودات ذات الصفات المميزة، وكلها مهمة لوجود تطبيقات كثيرة تستفيد من الخصائص المميزة لهذه الديودات ومنها:

أ- الديود الباعث للضوء (Light Emitting Diode - LED):

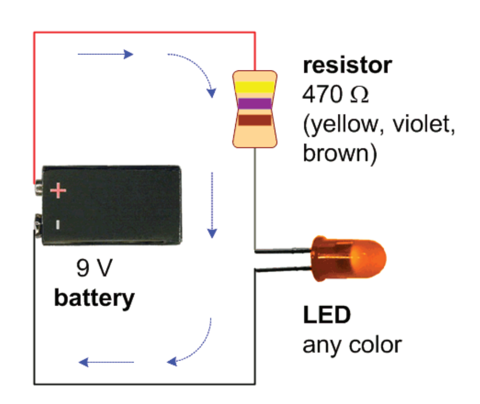
- يشع الضوء عند مرور التيّار الكهربائيّ به نتيجة وجوده في حالة الانحياز الأماميّ.
- يمكن تحديد طرفي الديود الباعث للضوء حيث إنَّ الطرف الأطول يدل على الانود (A)، والطرف الأقصر يدل على الكاثود (K)، والشكل (16) يُبيِّن بعض أشكال ديودات الباعثة للضوء ورمزها.



شكل (16): الديودات الباعثة للضوء ورمزها



- يستخدم الديود كمبين إشارة، وفاحص لقطبيّة مصدر جهد مستمرّ، أو يستخدم في دوائر العرض كما هو الحال في دائرة وحدة الشرائح السبعة (7-Segment Display).
- عند توصيل الديود الباعث للضوء في الدوائر الكهربائيّة يجب مراعاة قيمة الجهد الساقط عليه بحيث لا يتعدى القيمة المسموح بها، وكذلك أن لا يمرّ فيه تيّار أكبر من التيّار المسموح به حتى لا يتلف.
- يوصل الديود الباعث للضوء كما في الشكل (17) في الاتجاه الأماميّ، وتوصل دائما مقاومة قيمتها ما بين (470Ω) إلى (1KΩ) لتحمي الديود الباعث للضوء (LED).



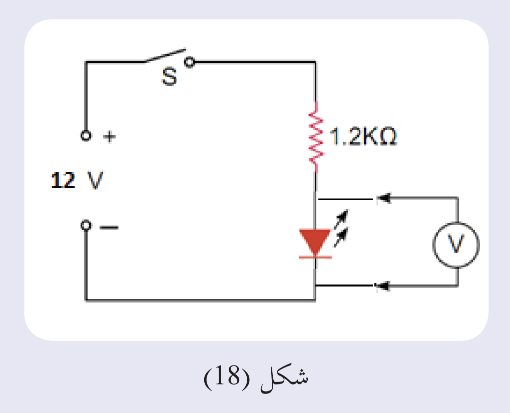
شكل (17): طريقة توصيل الديود الباعث للضوء

- تتوفر الديودات الباعثة للضوء بعدد محدود من الألوان ولكل لون جهد تشغيل، كما في جدول (1).
- يعتمد لون الضوء الذي ينتجه الديود الباعث للضوء على نوع المادة المصنوعة منه، وليس على لون الغلاف الخارجيّ للديود، وعلى سبيل المثال الضوء الأخضر يصنع من فوسفيد الغاليوم.
- يتمّ فحص الديود الباعث للضوء بنفس طريقة فحص الديود العاديّ، إلا أن قيم القراءات للديود في حالة الانحياز الأماميّ تختلف تبعاً للون الديود الباعث للضوء كما هو مبيّن في الجدول (1).

جدول (1): قيم الجهد الثابت للديودات الباعثة للضوء حسب لونها في حالة الانحياز الأماميّ والعكسيّ

الرقم	لون LED	انحياز أمامي (V)	انحياز عكسيّ
1	أحمر	1.9	O.L
2	أصفر	2.5	O.L
3	أخضر	2.8	O.L
4	أبيض	3.1	O.L
5	برتقالي	2.2	O.L
6	ديود الأشعة تحت الحمراء	1.1	O.L

سؤال: في الشكل (18)، احسب قيمة التيّار المارّ في الديود المشع للضوء بعد إغلاق المفتاح، إذا علمت أن قراءة جهاز الفولتميتر على طرفي الديود المشع للضوء تساوي (1.85V)؟



شكل (18)

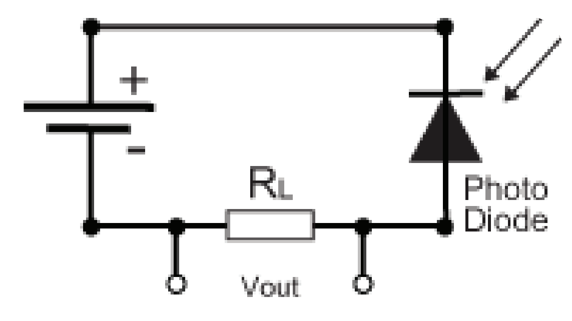
ب- الديود الضوئي/ الديود الحسّاس للضوء (Photo Diode):

- يعمل على تمرير التيّار الكهربائيّ عندما يتعرض للضوء.
- يغلف بأسطوانة تسمح بمرور الضوء اليه من نافذة زجاجية صغيرة، كما في الشكل (19).



شكل (19): شكل ورمز الديود الضوئي

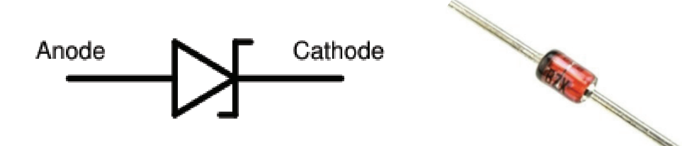
- يستخدم مجساً في دارات الإنذار المختلفة ودارات الترانزستور.
- يتمّ فحص الديود الضوئي بنفس طريقة فحص الديود العاديّ.
- يوصل الديود الضوئي توصيلاً عكسيّاً كما في الشكل (20).



شكل (20): توصيل الديود الضوئي

ج- ديود الزينر (**Zener Diode**):

- هي ديودات مصنوعة من السيلكون تزيد شوائبها الممتزجة عن شوائب الديود الإعتيادي، والذي يتميز بخاصية التوصيل في حالة الانحياز العكسيّ تحت ثبات الجهد.
- يستخدم الزينر عادة في تثبيت جهد الخرج مع تغيّر الحمل (كمنظّم جهد في مصادر القدرة)، والخط الأسود دائماً يدل على الكاثود، ويُبيِّن الشكل (21) رمز الزينر وشكله الشائع.
- يوصل الزينر دائماً عكسيّاً أما إذا وصل توصيلاً أمامياً فإنّ خصائصه تكون مثل الديود العاديّ.



شكل (21): شكل ديود الزينر ورمزه الكهربائيّ

- **ترميز ديود الزينر:**

» تبدأ ترميزات الزينر بـ (BZY)،أو (BZX)، أو (1N)، وتكون بعبوة زجاجية أو بلاستيكيّة، ومن أجل جهد انهيار عكسيّ قيمته (4.7V) نجد الزينر مطبوعاً عليه (4V7)، ويصنّف وفقاً لجهد الانهيار العكسيّ، وأدنى قدرة يصرفها الديود.

» بالعادة يتمّ تمييز الديود العاديّ على الشاصي بالرمز (D)، والديود الزينر بالرمز (ZD).

» يكتب على جسم الزينر قيمة الجهد العكسيّ (جهد الزينر/جهد الانهيار).

» يتوافر الزينر بجهود انهيار عكسيّة (1.8V - 200V) بقدرة تصل إلى (100W).

- **مواصفات الزينر ديود:**

» **جهد الزينر (V_z):** وهي قيمة الجهد العكسيّ الذي ينهار عندها الزينر، ويبدأ بتمرير التيّار العكسيّ، (الجهد الذي سيثبت عنده جهد الخرج)، ويبقى هذا الجهد ثابتاً بالرغم من التغيّرات في قيمة التيّار العكسيّ.

» **القدرة القصوى (P_{zm}):** وهي أقصى قدرة بالواط يمكن أن يبدّدها الزينر في حالة الانهيار العكسيّ دون أن يتلف.

ويوضّح الجدول (2) بعض القيم للجهود الثابتة للزينر الديود مختلفة بحسب أرقام الشركة الصانعة ومقدار أقصى تيّار مسموح أن يمرّ به في حالة الانحياز العكسيّ له .

جدول (2): بعض قيم الجهود المنظّمة للزينر الديود مع أقصى قيمة للتيّار في حالة الانحياز العكسيّ

قيمة أقصى تيّار للزينر (I_{ZM}) (mA)	قمة جهد الزينر الاسميّ (V_z) (V)	رقم الزينر
276	3.3	1N4728
252	3.6	1N4729
234	3.9	1N4730
217	4.3	1N4731
193	4.7	1N4732
178	5.1	1N4733
162	5.6	1N4734

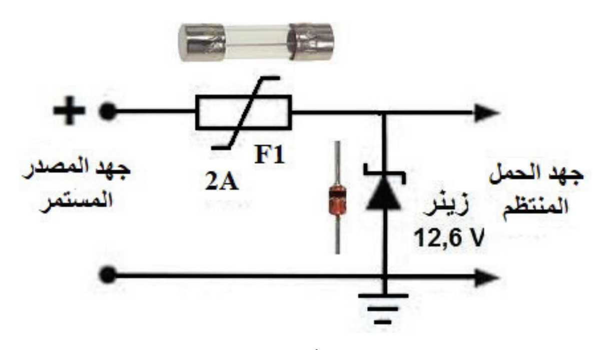
- **مبدأ عمل الزينر ديود:**

يوصل الزينر بالتوازي مع مصدر الجهد المراد تثبيت قيمته، كما في الشكل (22).

» **في حالة الانحياز الأماميّ:** يتصرف ديود زينر مثل الديود العاديّ، حيث يسمح للتيّار بالتدفق من خلاله.

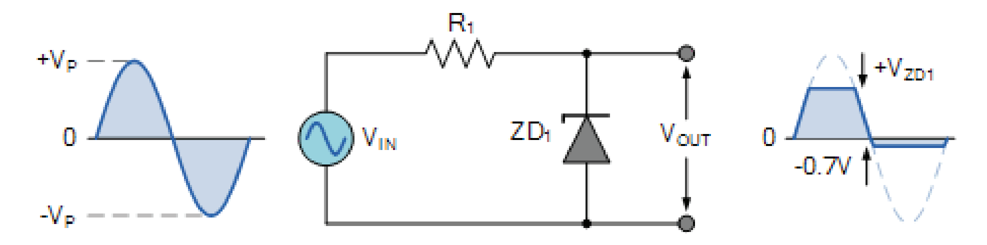
» **في حالة الانحياز العكسيّ:**

1. إذا كان جهد الدخل أقل من جهد الزينر ($V_{in} < V_z$) سيمر تيّار صغير جدّاً من خلال الزينر يمكن إهماله، ويمر التيّار من خلال الحمل.
2. إذا كان جهد الدخل أكبر أو يساوي جهد الزينر ($V_{in} \geq V_z$) سيمر التيّار من خلال الزينر مع ثبات الجهد على الحمل، بشرط أن يبقى التيّار المارّ بالزينر أقل من أقصى تيّار يتحمّله الزينر (I_{Zmax}).
3. إذا زادت قيمة التيّار المارّ في الزينر عن قيمة أقصى تيّار يتحمّله الزينر (I_{Zmax}) فإنّ ذلك يؤدّي إلى تلف الزينر؛ لذلك يجب توصيل مقاومة على التوالي مع الزينر لحمايته من التلف، بحيث لا يزيد التيّار المارّ بالزينر عن الحد المسموح.
4. إذا تخطّى جهد الزينر قيمة الجهد المطبوعة عليه فإنّه ينهار، ويوصل التيّار فى الاتجاهين، بمعنى إذا وضعنا في الدائرة زينر قيمته (12.6V) مثلاً، وزاد الجهد إلى (13V) سنجد الزينر ينهار، ويوصل التيّار في الاتجاهين، ويصبح مثل قطعة السلك بين طرفي الموجب والسالب، وبالتالي يؤدّي ذلك إلى تماسّ، وإلى احتراق الفيوز فوراً وحماية الجهاز، أما فى حالة عكس القطبيّة فيعمل الزينر، ويمرر التيّار السالب إلى الموجب والموجب إلى السالب، ويؤدّي هذا إلى احتراق الفيوز فوراً وحماية الجهاز.



شكل (22): مبدأ عمل الزينر وتوصيله

والشكل (23) يُبيِّن توصيل الزينر مع مصدر جهد متناوب.



شكل (23): تصرف الزينر في حالة الانحياز الأماميّ والعكسيّ

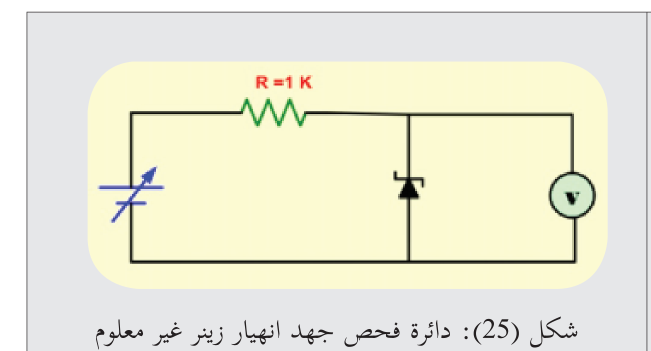
- فحص ديود الزينر:

» يمكن فحص الزينر بنفس الطريقة الَّتي يتمّ فها فحص الديود العاديّ باستخدام جهاز (DMM) على إشارة الديود، حيث يجب أن يعطي قراءة ما بين (0.3V - 0.7V) تقريباً في حالة الانحياز الأماميّ، ولكنه يعطي قيمة جهد الانهيار في حالة الانحياز العكسيّ والقريبة من (2V)، وقد يعطي قيمة كبيرة جدّاً (O.L) إذا كان جهد انهياره أكبر من ذلك، كما في الشكل (24).



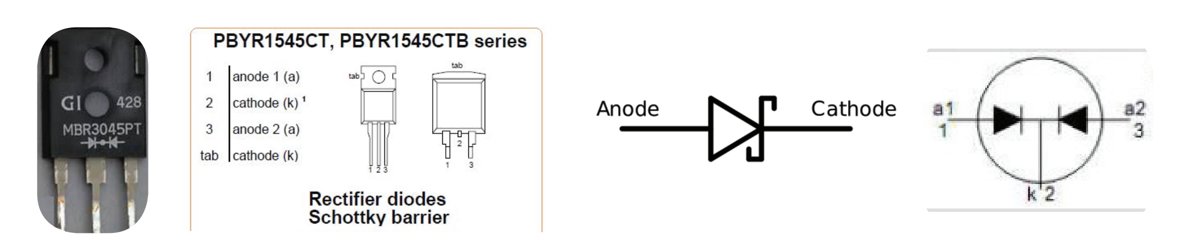
شكل (24): طريقة فحص ديود الزينر

- **فحص جهد زينر غير معلوم:**

» يُبيِّن الشكل (25) دائرة فحص جهد الزينر، حيث يتمّ توصيله مع مصدر جهد مستمرّ عبر مقاومة قيمتها (1KΩ) لحمايته. » اضبط ساعة الفحص (DMM) على الجهد المستمرّ، وقم بزيادة جهد المصدر من الصفر تدريجياً، ولاحظ القراءة، استمر في زيادة الجهد حتى تثبت قراءة الجهد، وعندئذ تكون هذه القيمة مساوية تقريباً لجهد انهيار الزينر (V_z).	 شكل (25): دائرة فحص جهد انهيار زينر غير معلوم

د- ديود شوتكي (Schottky Diode):

- يتميز هذا النوع من الديودات بالسرعة التبديليّة العالية (20GHz)، وبعدم التشويش، خاصّة عند استخدامه في دوائر الاتّصالات والرادار، أيّ أنه ينتقل من وضع التوصيل إلى وضع الفصل في زمن صغير جدّاً، وبالتالي فإنّه يستخدم في حالة التردّدات العالية.
- يتميز بمقرّرات تيّار عالية تصل إلى (200A)، وكذلك بجهود تصل إلى (200V)، وبسبب ذلك فهو يستخدم في الدوائر ذات الجهود المنخفضة والتيّارات العالية، وخاصّة في مغذّيات الطاقة المفتاحية (Switching Mode Power Supply - SMPS).
- يمثّل بديودين متصلين بمصعد مشترك (K2) بينما الطرفان الآخران يمثلان المهبط لكل ديود (a1،a2)، حيث يتحمل تيّاراً حتى (15A) وجهداً يصل إلى (45V)، والشكل (26) يُبيِّن أهم مواصفات ديود شوتكي ورمزه، وكذلك يُبيِّن الشكل أطراف توصيل الديود حسب بيانات الشركة الصانعة.



شكل (26): ديود شوتكي يتحمل تيّار حتى (15A) ورمزه الكهربائيّ

- يستعمل ديود شوتكي لتقويم التيّار المتناوب إلى التيّار المستمرّ عندما يكون تردّد التيّار المتناوب عالياً جدّاً.
- يفحص كأنه ديودان، حيث نقطة (1،3) ديود و (2،3) ديود، ويفحص نقطة الوسط مع جسم المعدن (يعطي قراءة بسيطة).

نشاط (4): استخرج بيانات الديود الذي يحمل الرقم (MA760) من البرامج المناسبة لكتب البيانات.

4 - 4 الموقف التعليميّ الرابع: بناء دارة إلكترونيّة لتشغيل محرّك تيّار مستمرّ يعمل بجهد منظّم يتراوح ما بين (0 - 30VDC/5A)

وصف الموقف التعليميّ التّعلّميّ:

حضر صاحب ماكينة رياضة إلى مؤسسة صيانة الآلات الصناعيّة، يريد عمل لوحة إلكترونيّة تعمل على تشغيل حمل كهربائيّ يعمل على تيّار مستمرّ بجهد منتظم يتراوح ما بين (0 - 30VDC/5A).

العمل الكامل:

خطوات العمل	وصف الموقف الصّفّيّ	المنهجيّة (إستراتيجيّة التّعلّم)	الموارد حسب الموقف الصّفّيّ
أجمع البيانات، وأحلّلها	● أجمع بيانات من صاحب ماكينة الرياضة عن: - طبيعة استخدام اللّوحة الإلكترونيّة. - مقدار التغيّر لقيمة الجهد المطلوب (الحد الأعلى والأدنى) - مقدار تيّار الحمل الأقصى. ● أجمع بيانات عن: - نوع الديودات الأنسب للاستخدام (ديودات عاديّة أم قنطرة توحيد). - مواصفات القنطرة المستخدمة. - آليّة فحص أطراف الديود والقنطرة، وتحديدها. - أهم التطبيقات المستخدم فيها الديود العاديّ وقنطرة التوحيد. - أنواع منظّمات الجهد ومواصفاتها الفنّيّة. - أنواع دوائر الترشيح الأنسب. - طريقة ضبط الجهد للمنظّم المستخدم.	● التّعلّم التعاونيّ. ● البحث العلميّ. ● الحوار والمناقشة.	● قرطاسيّة وأقلام. ● وثائق (كتالوجات). ● الشبكة العنكبوتية.
أخطّط، وأقرّر	● أصنف البيانات وتبويبها. ● أحدد جدول زمنيّ لتنفيذ المهمة. ● اختيار العناصر الإلكترونيّة والمواصفات المناسبة للمهمة. ● تحديد جدول تكلفة للمهمة. ● تحديد العِدَد المناسبة لتنفيذ العمل.	● الحوار والمناقشة. ● العمل في مجموعات.	● قرطاسيّة. ● الشبكة العنكبوتية. ● العِدَد اليدويّة الّتي تلزم. ● كتالوجات والمواصفات الفنّيّة لعدد من العناصر الإلكترونيّة المطلوبة. ● نموذج جدول تكلفة.

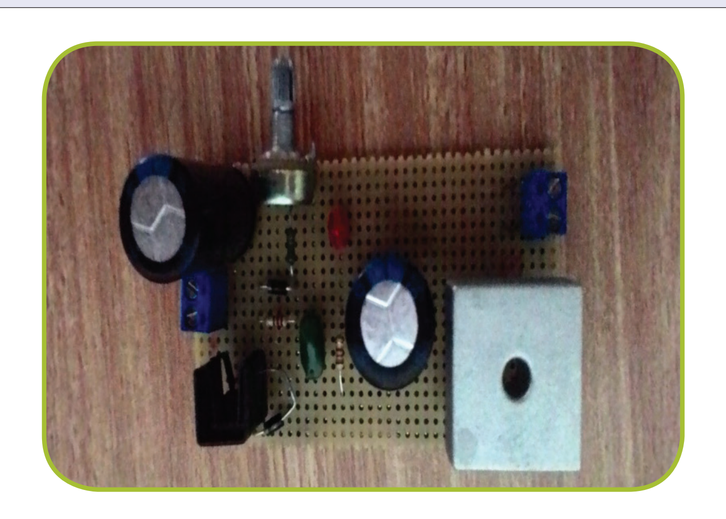
أنفّذ	• استخدام أدوات السلامة المهنيّة، تبعاً للمعايير الفنيَّة ذات الصلة. • البدء بعمليّة استكشاف المراحل المسؤولة عن تشغيل منظّم الجهد المطلوب. • التأكّد من صلاحِيَة العناصر الإلكترونيّة المستخدمة. • توصيل العناصر الإلكترونيّة المطلوبة حسب المخطط. • توصيل الدارة الكهربائيّة حسب المُخَطّط وتشغيلها. • ضبط الجهد حسب المطلوب.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• صندوق العِدّة. • القطع اللازمة لعمليّة التركيب والتشغيل والصيانة. • أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة.
أتحقّق	• التّحقّق من السلامة والاحتياطات الَّتي تمَّ أخذها بعين الاعتبار أثناء الفكّ والتركيب. • تشغيل النظام الخاص بالزبون، والتأكد من عمله جيداً.	• التّعلّم التعاونيّ.	• أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة. • وثائق.
أوثّق، وأقدّم	• إنشاء قوائم خاصّة بالعِدَد اليدويّة ووسائل القياس المستخدمة. • تحديد جدول زمنيّ للتسليم. • تسليم قوائم العمل لمسؤول الصيانة. • فتح ملفّ بالحالة.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• جهاز حاسوب. • جهاز عرض. • قرطاسيّة.
أقوم	• رضا صاحب ماكينة الرياضة بما يتفق مع طلبه. • المطابقة مع المواصفات والمعايير.	• الحوار والمناقشة. • البحث العلميّ.	• نماذج التقويم. • طلب الزبون.

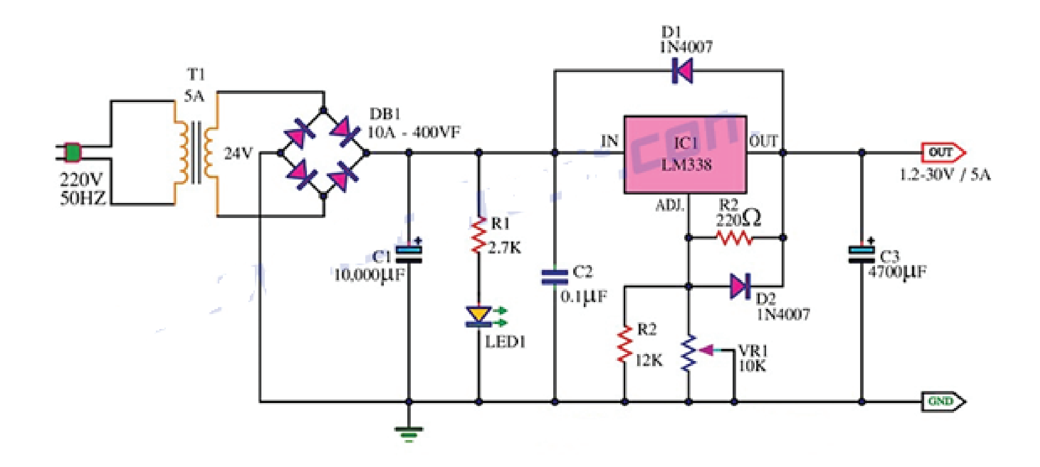
الاسئلة

1. أبين كيف يتمّ فحص محوّل خافض للجهد لتحديد صلاحيته؟
2. أبين كيف يتمّ تمييز مواصفات المكثّف ونوعه؟
3. أبين كيف يتمّ اختيار قنطرة التوحيد المناسبة لدارة إلكترونيّة؟

أتعلّم:

نشاط (1): حاول معرفة مكوّنات اللَّوحة المثقبة المُبيّنة في الشكل أدناه.





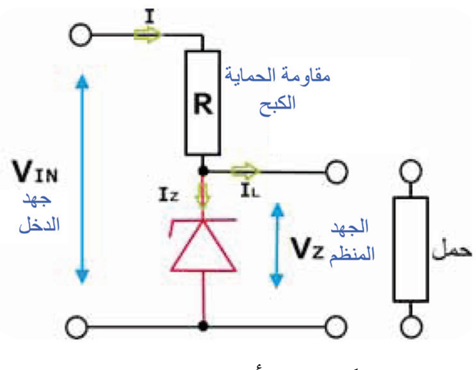
مخطط توصيل دارة منظّم جهد موجب ذي قيمة جهد خرج يتراوح ما بين (1.2V - 30V)

نشاط (2): حاول تحديد مواصفات العناصر الإلكترونيّة المُبيّنة في المُخَطّط أعلاه.

دوائر تنظيم الجهد (Voltage Regulation):

1- منظّم الزينر:

منظّم الزينر - أبسط أنواع دوائر التنظيم - هو عبارة عن دارة وظيفتها توفير جهد تغذية ثابت القيمة، ويُبيِّن الشكل (1) دارة منظّم جهد تستخدم ديود الزينر.



شكل (1): أبسط دوائر التنظيم

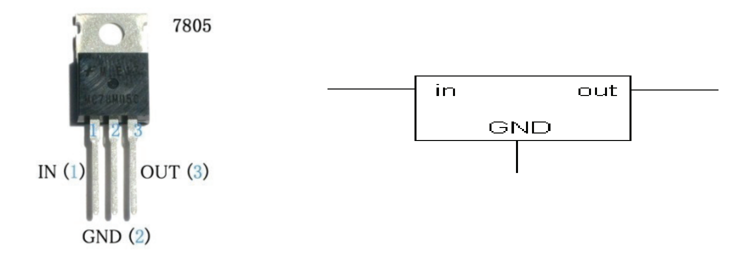
ملاحظات:

- الزينر يعمل في حالة الانهيار العكسيّ.
- جهد التغذية أكبر من جهد الزينر.
- يوصل مقاومة حماية - كبح - لحماية الزينر تعتمد قيمتها على التيّار المارّ في ديود الزينر وفرق الجهد بين جهد الدخل وجهد الخرج.

2- منظّمات الدائرة المتكاملة:

تعد دوائر تنظيم الجهد من أكثر الدوائر استخداماً وخاصّة في دوائر الشواحن؛ لكي تعطي جهداً ثابتاً في الخرج قيمته تختلف على حسب نوع منظّم الجهد المستخدم، كما تستخدم أيضاً في دوائر تغذية الجهد المستمرّ الذى يعطي جهود خرج مختلفة منها (12V, 10 , 8 , 6 , 5) وغيرها من الدوائر.

يقوم المنظّم بنفس عمل ديود الزينر، فهو يأخذ التيّار غير المنتظم، فيعطي قيمة منتظمة للتيّار في الخرج، ويتميز عن الزينر في أنه أكثر كفاءة للأحمال الَّتي تحتاج تيّاراً كبيراً، وهو عبارة عن دائرة كاملة تتكوّن من عِدّة ترانزستورات موضوعة جميعها في عنصر واحد، ويُبيِّن الشكل (2) شكل المنظّم ورمزه.



شكل (2): شكل المنظّم ورمزه



أ. يتكوّن هذا المنظّم من (3) أطراف:

- طرف الدخل.
- طرف الأرضي.
- طرف الخرج.

ب. أشهر أنواع هذه المنظّمات هي:

- **العائلة (78XX):** من أجل تنظيم الجهود الموجبة، وتكون قيمة المنظّم في الرقميّن XX.
- **العائلة (79XX):** من أجل تنظيم الجهود السالبة، وتكون قيمة المنظّم في الرقميّن XX.

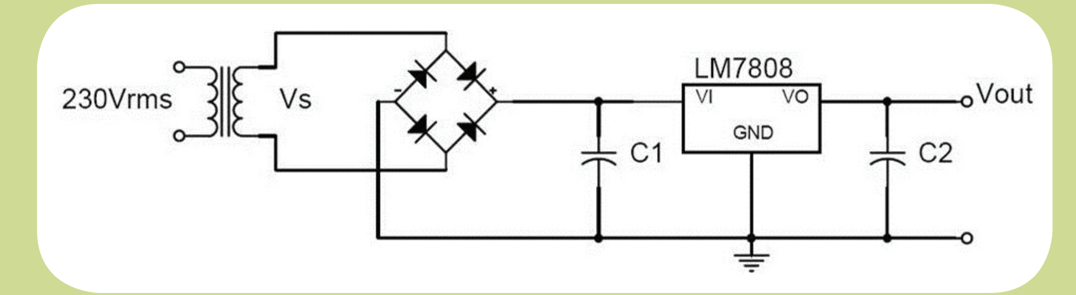
أمثلة:

- **منظّم الجهد (7812):** يعطى خرجاً موجباً (12VDC).
- **منظّم جهد (7912):** يعطى خرجاً سالباً (12VDC).

والجدول التالي يُبيِّن جهود التنظيم للعائلتين (78XX) و (79XX)

IC Part Number رقم المنظّم	**Output Voltage** جهد الخرج	**Minimum Required (V_{in})** أصغر قيمة لجهد الدخل
7805	+5V	7.3V
7806	+6V	8.35V
7808	+8V	10.5V
7810	+10V	12.5V
7812	+12V	14.6V
7815	+15V	17.7V
7818	+18V	21V
7905	-5V	-7.3V
7906	-6V	-8.35V
7908	-8V	-10.5V
7910	-10V	-12.5V
7912	-12V	-14.6V
7915	-15V	-17.7V
7918	-18V	-21V

مثال تطبيقي:



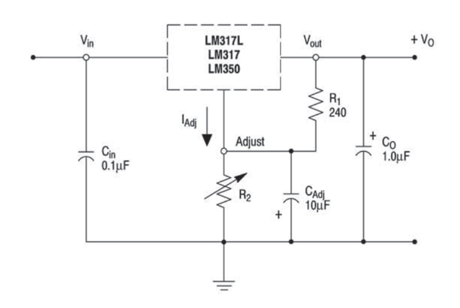
الدارة السابقة تحتوي منظّم جهد (8VDC)، كما أن الجهود تعطى بالعلاقات التالية:

من الجدول السابق فإنّ المنظّم (7808) يحتاج في دخله أقل جهد (10.5 V)، بالإضافة إلى هبوط الجهد على القنطرة (7.0V + 7.0V)، فالجهد الثانويّ من القمة للقمة للمحوّل: (11.9V= 0.7 + 0.7 + 10.5) أما القيمة الفعليّة للجهد على الطرف الثانويّ: $Vrms = \frac{11.9}{1.41} = 8.145V$

ملاحظة مُهِمَّة: دائماً نضع على مدخل المنظّم ومخرجه مكثّفات سعتها نانوفاراد من أجل حماية المنظّم من ارتفاع الجهد المفاجئ ومن الحالات العابرة للتيّار .

ملاحظة: يتمّ معرفة أطراف (IC) (الرقاقة الإلكترونيّة) عن طريق كتب المكافئات، أو من البرامج الخاصّة بذلك، أو عن طريق الشبكة العنكبوتية.

- بالإضافة إلى العائلتين (78XX) و (79XX) يوجد عائلات أخرى تنتظم جهوداً متغيّرة مثل المنظّمات (LM317)، حيث تعطي هذه المنظّمات تيّار خرج (0.5A - 3A) وجميعها تركَّب كما في الشكل (3).



شكل (3): تركيب المنظّمات الموجبة متغيّرة القيمة

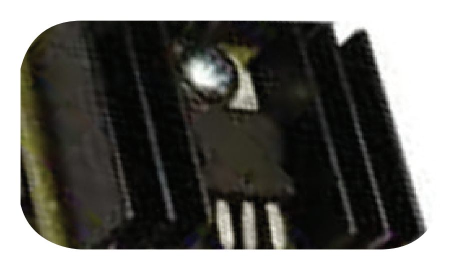
ملاحظة: تستخدم المقاومة (R2) للتحكم بقيمة جهد الخرج.

ويمكن استخدام المنظّمات من نوع (LM317) في تنظيم الجهد الموجب، وتعطي تيّار خرج حتى (1.5A)، وتتحكم بالجهد على المخرج من (1.2V – 37V)، وتتميز بالسهولة، ولا تحتاج إلا لمقاومتين لضبط الجهد على المخرج. ويوجد منها تشكيلة متنوعة حسب القدرة المطلوبة لمنظّم الجهد الموجب، كما في الشكل (4).



شكل (4): أطراف (IC)

وإذا كانت حرارة (IC) عالية يجب تركيب مبدِّد حراري لها كما في الشكل (5).



شكل (5): تركيب مبدِّد حراري لمنظّم الجهد

3- المبدِّدات الحراريّة (المبرّدات) (Heat Sinks):

بالرغم من أن العناصر الإلكترونيّة الفعّالة (بما فيها الثايرستورات والترانزستورات) قد تعمل في الدارات الإلكترونيّة بالإجمال عمل المفاتيح، أيّ الانتقال بين حالتي الوصل والفصل. إلا أنها تبتعد في عملها عن مواصفات المفتاح المثاليّ: مقاومة تساوي الصفر في حالة الوصل، ومقاومة تساوي ما لا نهاية في حالة الفصل؛ ذلك لأن جميع العناصر الفعّالة تبدي مقاومة ولو قليلة عندما تكون في حالة التوصيل، ويمر فيها تيّار الحمل؛ وهذا يسبب وجود قدرة كهربائيّة مبدّدة داخل هذه العناصر تظهر على شكل حرارة؛ لهذا ومن أجل الحفاظ على سلامة العنصر الإلكترونيّ، يجب نقل هذه الحرارة بمعدل سريع من داخل العنصر؛ حتى نضمن عدم وصول درجات الحرارة داخل العنصر الإلكترونيّ إلى الحد الذي يؤدّي إلى الاخلال بعمله، أو تلفه في نهاية الأمر. وكثير من العناصر الإلكترونيّة لها سطح معدني يقوم بامتصاص الحرارة من داخل العنصر، إلا أن ذلك لا يكون كافياً في العادة لتبريد العنصر؛ مما يتطلب عادة استخدام المبرّدات.

والمبرّدات في العادة عبارة عن قطع مصنوعة من الألمنيوم، يتمّ تركيبها بحيث تكون على تلامس وثيق يُسهل انتقال الحرارة من العنصر الإلكترونيّ إلى المبرد، ومن ثم إلى المحيط الخارجيّ. وتكون المبرّدات ذات زعانف لزيادة مساحة السطح المعرض للهواء الخارجيّ؛ من أجل زيادة كمية الحرارة المنقولة من المبرد إلى المحيط الخارجيّ. ويجب كذلك وضع معجونة حرارية خاصّة بين العنصر الإلكترونيّ والمبرد؛ من أجل زيادة معدل وكمية الحرارة المنقولة من العنصر الإلكترونيّ إلى المبرد. حيث تقوم هذه المعجونة الخاصّة بملء الفراغات الصغيرة جدّاً، التي تكون مملوءة بالهواء بين سطح العنصر الإلكترونيّ وسطح المبرد. فمهما كان سطح العنصر الإلكترونيّ وسطح المبرد مصقولين، فإنّه عند تثبيتهما بعضهما مع بعض لا بد أن تكون هناك بعض الفراغات الَّتي تمتلئ بالهواء. والهواء عنصر غير جيِّد لتوصيل الحرارة.

ولمعالجة هذا الوضع وزيادة كفاءة التوصيل الحراريّ بين العنصر الإلكترونيّ والمبرد يتمّ استخدام المعجونة الحراريّة. حيث تقوم هذه المعجونة بملء تلك الفراغات الهوائيّة، وبما أن توصيلها الحراريّ أفضل بكثير من الهواء، فإنّ انتقال الحرارة بين العنصر الإلكترونيّ والمبرد يصبح أفضل بكثير. وهذا يسمح للعنصر الإلكترونيّ العمل على درجات حرارة أقل، فيعمل بكفاءة أفضل، ويساعد على عدم تلفه، كما في الشكل (6).

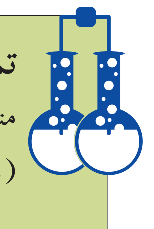




شكل (6): أشكال المبرّدات للعناصر الإلكترونيّة الفعّالة

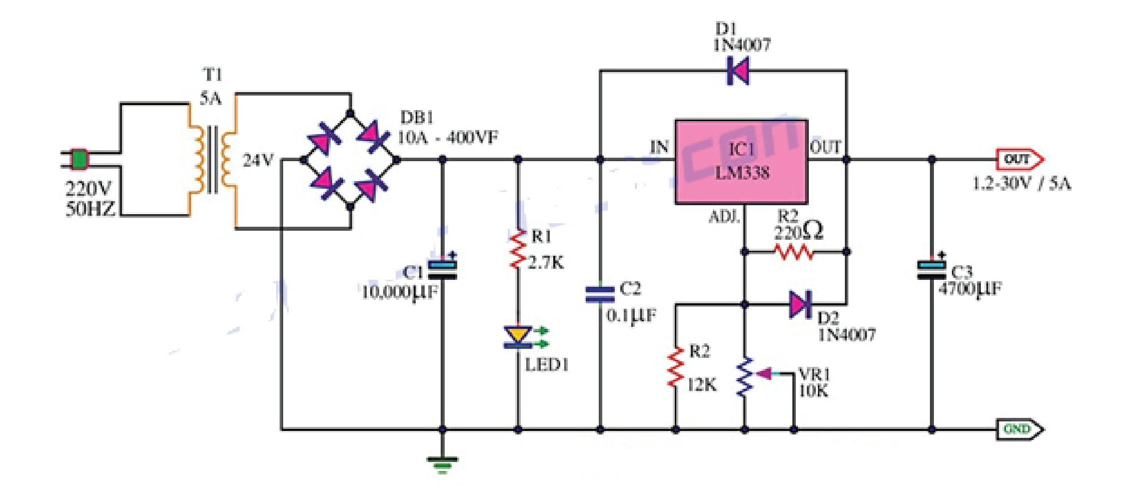
وفي حالة منظّمات الجهد، فإنّه من الضروري الإشارة هنا، إلى أن قيمة الجهد الداخل (V_{IN}) للمنظّم يجب أن تكون أعلى من الجهد الخارج (V_{OUT}) له بقيمة تتراوح من (2V - 3V) على الأقل، لكي يعمل المنظّم جيداً، وكذلك يجب أن يتمّ تثبيت المنظّم على مبدِّد حراري؛ لكي يستطيع تبديد الحرارة الناتجة عن قيمة الفرق في الجهد ما بين الجهد الداخل والجهد الخارج، وكلما كان هذا الفرق في الجهد كبيراً كان من اللازم اختيار مبدِّد حراري ذي مساحة تبديد حراري أكبر، ويمكن حساب قيمة القدرة (P_D) الّتي يجب أن يبدِّدها المنظّم من خلال المبدِّد الحراريّ من المعادلة الآتية:

$$P_D = (V_{IN} - V_{OUT}) \times I_{OUT}$$



تمرين (1): ركب الدارة الكهربائيّة المُبيّنة في المُخَطّط أدناه (على لوحة مثقبة) لمنظّم جهد موجب متغيّر القيمة يستخدم الرقاقة (LM 338)، ثم شغّله ليعطي قيم الجهد على مخرجه حسب الجدول (1)، قم بتعبئة الجدول (بقيمة المقاومة المتغيّرة بواسطة قياسها بالجهاز) بالقيمة المتوافقة مع الجهد المقابل لها في الجدول (1).

ملاحظة: يجب فصل مصدر الجهد عن الدارة عند القيام بقياس قيمة المقاومة المتغيّرة في كلّ حالة.



الجدول (1)

الجهد على مخرج منظّم الجهد (V)	قيمة المقاومة المتغيّرة	ملاحظات
1.2		
2		
3		
4		
5		
9		
12		
15		
20		
25		
30		

4 - 5 الموقف التعليميّ الخامس: صيانة لوحة إلكترونيّة لشاحن بطّاريّة تحتوي على ترانزستورات تالفة

وصف الموقف التعليميّ التّعلّميّ:

حضر صاحب ستوديو إلى مؤسسة صيانة الآلات الصناعيّة يريد صيانة لوحة إلكترونيّة لشاحن بطّاريّة تحتوي على ترانزستورات تالفة، وطلب فحص اللّوحة الإلكترونيّة، وتشخيص أسباب العطل، واستبدال التالف بنفس المواصفات.

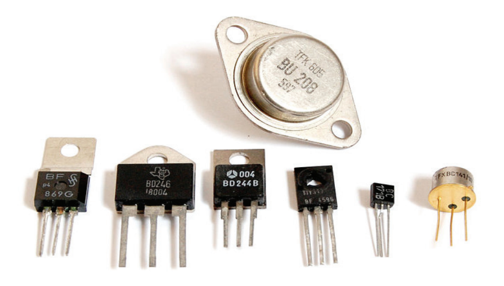
العمل الكامل:

خطوات العمل	وصف الموقف الصّفّيّ	المنهجيّة (إستراتيجيّة التّعلّم)	الموارد حسب الموقف الصّفّيّ
أجمع البيانات وأحلّلها	• أجمع البيانات من صاحب الاستوديو عن: - نوع الجهاز الّذي يستخدم اللّوحة وآليّة عمله. - طبيعة الخلل. - هل تمَّ عرض هذه اللّوحة على ورشة صيانة سابقة؟ • أجمع البيانات عن: - نوع الجهاز والمخطّط الكهربائيّ للوحة الإلكترونيّة. - القطع الإلكترونيّة المكونة للوحة، ومواصفاتها، ومبدأ عملها. - أنواع الترانزستورات واستخداماتها. - مواصفات الترانزستورات. - كيفيّة استخراج مواصفات الترانزستورات من كتب المكافئات وتحديد أطرافها وبدائلها. - كيفيّة استخدام أجهزة القياس لتحديد أطرافها وصلاحيتها. - مبدأ عمل الترانزستورات. - تطبيقات الترانزستورات. - كيفيّة فكّ الترانزستورات وتركيبها بشكل سليم. - أعطال الترانزستورات.	• البحث العلميّ. • الحوار والمناقشة.	• قرطاسيّة وأقلام. • وثائق (كتالوجات). • الشبكة العنكبوتية.

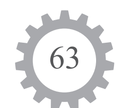
أخطِّط، وأقرّر	• أصنف البيانات وتبويبها. • أحدد الأدوات والعِدَد والأجهزة اللازمة للعمل. • تحديد خطوات العمل: – رسم تركيب ورموز الترانزستورات المتنوّعة وتحديد أطرافها. – تحديد المواصفات الفنِّيَّة للترانزستورات حسب نوعها. – تحديد الجهد الكهربائيّ الَّذي تعمل الترانزستورات المتنوّعة وآليّة العمل. • إعداد جدول بالبدائل المقترحة لاستبدال القطع التالفة ومواصفاتها وجدوى الاستبدال. • إعداد جدول زمنيّ للتنفيذ.	• الحوار والمناقشة. • العمل التعاونيّ. • البحث العلميّ.	• قرطاسيّة. • وثائق. • نموذج الجدول الزمنيّ. • برامج رسم الدارات.
أُنَفِّذ	• استخدام أدوات السلامة المهنيّة وفقاً للمعايير الفنِّيَّة وأنظمة السلامة ذات الصلة. • استخدام العِدَد والأدوات المناسبة لعمليّة الفكّ والتركيب والتثبيت. • تتبّع مخطّط لوحة التحكّم، وفحص مكوّناته باستخدام أجهزة القياس، وتحديد الخلل، والقيام باستبدال القطع التالفة. • فك الترانزستورات عن اللوحات الإلكترونيّة، وفحصها، وتحديد أطرافها. • استخراج مواصفاتها من كتاب المواصفات. • تحديد أنواع ترانزستورات (BJT). • قياس المقاومة بين أطراف الترانزستورات من نوع (PNP وNPN)، وتسجيل القيم ومقارنتها. • تحديد أطراف ترانزستورات (BJT). • تحديد أطراف ترانزستور (MOSFET)، وفحصه.	• التّعلّم التعاونيّ. • البحث العلميّ. • الحوار والمناقشة.	• صندوق العِدّة. • القطع اللازمة لعمليّة التركيب والتشغيل والصيانة. • أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة. • أدوات لحام العناصر الإلكترونيّة وفكّها. • قرطاسيّة.

أَتَحَقَّق	• التّحقّق من السلامة والاحتياطات الَّتي تمَّ أخذها بعين الاعتبار أثناء فكّ المحرّك وتركيبه. • التّحقّق من توصيلات لوحة التحكّم حسب المخطّط. • تركيب اللَّوحة على الجهاز، والقيام بتشغيلها، والتأكّد من عملها. • استخدام جهاز (DMM) لفحص أطراف الترانزستورات المتنوّعة وتحديدها. • التّحقّق من القيم المقاسة عمليّاً لمقاومة وانحياز الجهد بين أطراف الترانزستور والقيم النظريّة. • التّحقّق من الوثائق والنماذج الَّتي تمَّ تعبئتها خلال أداء المهمة.	• العصف الذهني. • التّعلّم التعاونيّ. • الحوار والمناقشة.	• الوثائق. • المُخطّطات الإلكترونيّة • القرطاسيّة. • أجهزة القياس والفحص الإلكترونيّة.
أوثّق، وأعرض	• إنشاء قوائم خاصّة بالعِدَد اليدويّة ووسائل القياس المستخدمة. • تحديد جدول زمنيّ للتسليم. • تسليم قوائم العمل لمسؤول الصيانة. • فتح ملفّ بالحالة.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• جهاز حاسوب. • جهاز عرض. • قرطاسيّة.
أقوّم	• رضا صاحب الاستوديو مما يتفق مع طلبه. • المطابقة مع المواصفات والمعايير.	• الحوار والمناقشة. • البحث العلميّ.	• نماذج التقويم. • طلب الزبون.

نشاط (1): مستخدماً كتب نشرة المواصفات أو برامج الحاسوب المتنوّعة استخرج المواصفات الفنِّيَّة للترانزستورات الآتية: (BC547، BD139، 2N2222، BC557، 2N3055) بحيث تظهر المعلومات الآتية: (نوع الترانزستور، والمادة المصنوع منها، وأطراف الترانزستور، وجهد المجمع/ الباعث، وتيّار المجمع).



الشكل (1): أنواع مختلفة من الترانزستورات





الأسئلة:

1. كيف يتمّ ترميز الترانزستورات المختلفة في نشرات البيانات للعناصر الإلكترونيّة؟ وهل تتبع نوع الشركة الصانعة؟ بين ذلك.
2. ما المواصفات الفنّيَّة الَّتي يجب مراعاتها عند تغيير ترانزستور تالف.
3. أبين تستطيع التمييز بين الترانزستور العاديّ وترانزستور القدرة؟

أتعلّم:

تمييز أنواع الترانزستورات، ومواصفاتها، وتحديد أطرافها، وصلاحيتها.

نشاط (1): من خلال الرجوع إلى شبكة الإنترنت، ابحث عن أنواع الترانزستور واستخداماته وتطبيقاته في الحياه العمليّة.

الترانزستورات (Transistors):

يُعدّ الترانزستور أحد أهم عناصر أشباه الموصلات الَّتي تمَّ اكتشافها في العصر الحديث، ويستخدم الترانزستور بشكل عام في مكبِّرات الإشارات الكهربائيّة والمفاتيح الإلكترونيّة المختلفة، وقد ساعدت عِدّة عوامل في انتشاره بشكل كبير مثل صغر الحجم، وقلة التكلفة، وسهولة التصنيع، وسهولة التعامل والصيانة، واستهلاكه القليل للطاقة.

تصنّف الترانزستورات إلى الأنواع الرئيسية الآتية:

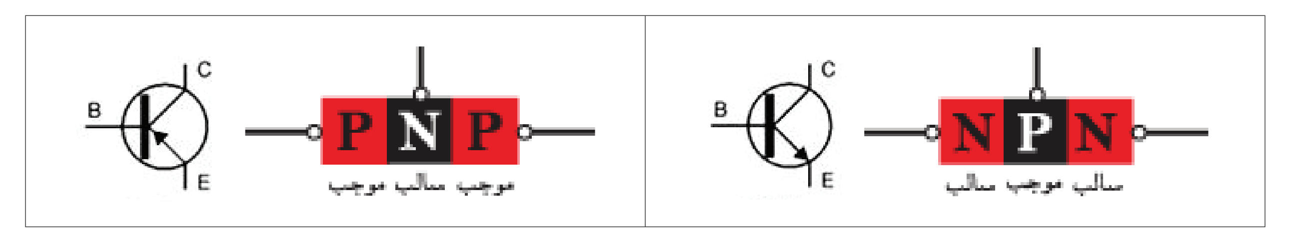
أولاً: ترانزستور ثنائيّ القطبيّة (BJT).
ثانياً: ترانزستور أحاديّ الوصلة (UJT).
ثالثاً: ترانزستور تأثير المجال (FET).
رابعاً: ترانزستور ثنائي القطبية معزول البوّابة (IGBT).

أولاً- ترانزستور ثنائيّ القطبيّة (Bipolar Junction Transistor - BJT):

1- تركيب وأطراف ترانزستور ثنائيّ القطبيّة (BJT):

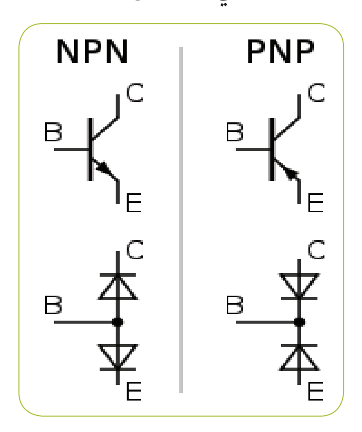
يتكوّن ترانزستور ثنائيّ القطبيّة من وصلتي (P-N)، بحيث تشترك الوصلتان في المنطقة الوسطى، وبذلك يصبح الترانزستور مكون من ثلاث طبقات (PNP) أو (NPN)، كما في الشكل (1):

- **القاعدة (Base)، ويرمز لها بالرمز (B):** تتحكم في مرور الإلكترونات.
- **المجمع (Collector)، ويرمز له بالرمز (C):** يقوم بتجميع الإلكترونات.
- **الباعث (Emitter)، ويرمز لة بالرمز (E):** يقوم بتوليد الإلكترونات.



شكل (1): تركيب الترانزستور ورمزه

ويمكن تمثيل الترانزستور بديودين: الأول بين الباعث والقاعدة، والثاني بين المجمع والقاعدة. ويكون اتجاه الديود حسب تركيب الترانزستور (NPN) أو (PNP)، كما في الشكل (2).

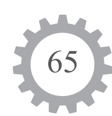


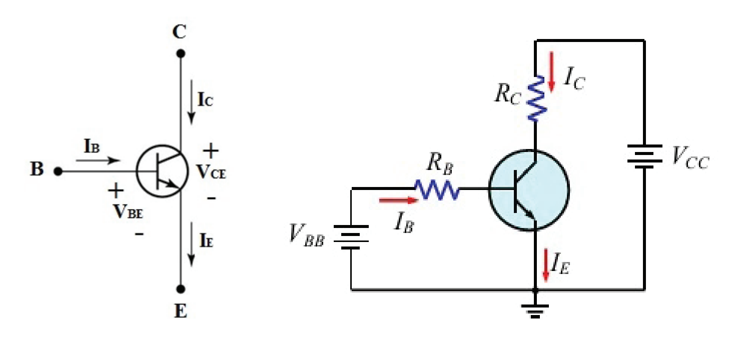
شكل (2): الدارة المكافئة للترانزستور بالديودات

2- طريقة توصيل ومبدأ عمل الترانزستور ثنائيّ القطبيّة (BJT):

أ - ترانزستور نوع (NPN):

- تكون وصلة (القاعدة - الباعث) انحيازاً أماميّاً، ووصلة (القاعدة - المجمع) انحيازاً عكسيّاً.
- نصل القاعدة (B) بطرف الجهد الموجب والباعث (E) بطرف الجهد السالب.
- يتحرك التيّار من المجمع (C) إلى الباعث (E) عن طريق القاعدة .

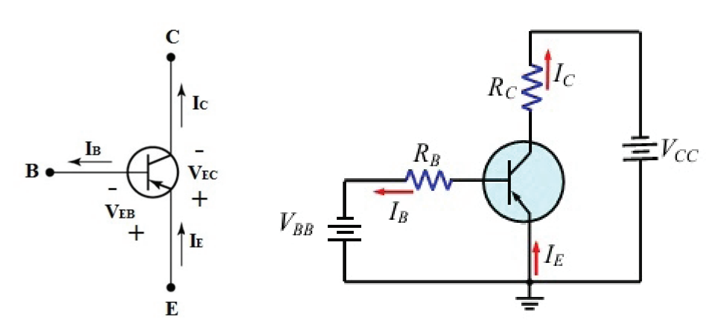




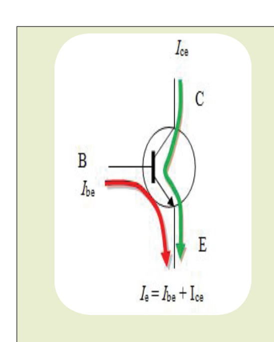
شكل (3): توزيع التيّارات والجهود للترانزستور نوع (NPN)

ب- ترانزستور نوع (PNP):

- تكون وصلة (القاعدة - الباعث) انحيازاً أماميّاً، ووصلة (القاعدة - المجمع) انحيازاً عكسيّاً.
- نصل القاعدة (B) بطرف الجهد السالب والباعث (E) بطرف الجهد الموجب.
- يتحرك التيّار من الباعث (E) إلى المجمع (C) عن طريق القاعدة.



شكل (4): توصيل الجهود مع الترانزستورات ثنائيّة القطبيّة من نوع (PNP)



يتم التحكّم بتيّار المجمع بواسطة تيّار القاعدة، فكلما زاد تيّار القاعدة زاد تيّار المجمع، ويمكن القول إنّ الترانزستور يشبه مقاومة متغيّرة، حيث تتغيّر قيمتها بالاعتماد على تغيّر قيمة تيّار القاعدة، فكلما زاد تيّار القاعدة قلّت قيمة المقاومة الداخليّة؛ مما يؤدّي إلى زيادة تيّار المجمع، وتكون العلاقة بين التيّارات المارة في الترانزستور حسب العلاقة الآتية:

$$I_E = I_C + I_B$$

حيث أنَّ:

تيّار المجمع	I_C	تيّار القاعدة	I_B	تيّار الباعث	I_E

ويُعَدّ تيّار القاعدة صغير جدّاً مقارنة بتيّار المجمع؛ ولهذا يمكن التقريب بأن تيّار المجمع (I_C) يساوي تيّار الباعث (I_E).

3- فحص ترانزستور ثنائيّ القطبيّة (BJT):

لتحديد أطراف ترانزستور ثنائيّ القطبيّة، وتحديد نوعه نتّبع الخطوات الآتية:

- ترقيم أطرافه، كما في الشكل (5).
- استخدام (DMM)، وقياس مقدار الانحياز بين أطرافه بالتبديل لكل الأطراف، حسب الجدول في الشكل (5).
- تحديد الأطراف الَّتي يقرأ عندها جهاز (DMM) قيمة الانحياز (0.5V - 0.7V).
- الأطراف الَّتي يقرأ عندها جهاز (DMM) قيمة الانحياز، (1 - 3) و (2 - 3).
- يكون الطرف المكرر (3) القاعدة (B).
- يكون الطرف (1) هو الباعث (E)؛ وذلك لأنّ انحيازه أعلى، والطرف (2) هو المجمع (C)؛ لأنّ انحيازه أقل.
- يتمّ تحديد نوع الترانزستور (NPN) أو (PNP)، وذلك بناء على لون السلك الثابت، فإذا كان السلك الثابت على (B) الموجب (الأحمر) يكون نوعه (NPN)، وإذا كان السلك الثابت عند القياس على (B) هو السالب (الأسود) يكون (PNP).
- انحياز (B - E) أكبر من انحياز (B - C) في الترانزستور من نوع (NPN).

Measuring point	Result
1 – 2	OL
1 – 3	0.720 VDC
2 – 3	0.716 VDC
2 – 1	OL
3 – 1	OL
3 – 2	OL

شكل (5): كيفيّة فحص وتحديد صلاحية ترانزستور ثنائيّ الوصلة باستخدام قياس جهد الانحياز

4- المواصفات الفنيَّة لترانزستور ثنائيّ القطبيّة (BJT):

عند استبدال ترانزستور جديد مكان آخر تالف أو استخدام ترانزستور في دارة ما فيجب معرفة المواصفات الفنيَّة الآتية:

أ- نوع الترانزستور وقطبيته (PNP)، (NPN).

ب- المادة المصنوع منها الترانزستور: السليكون أم الجرمانيوم.

ج- القيم القصوى:

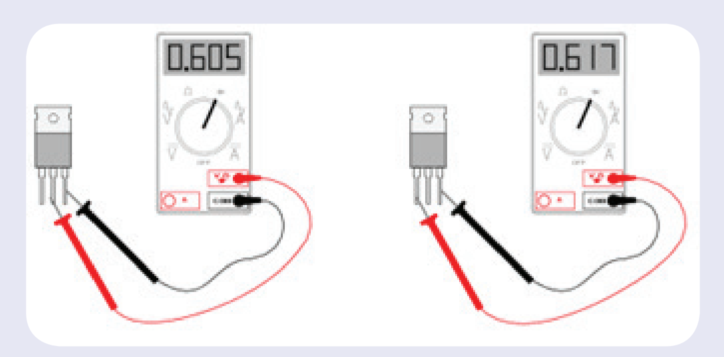
- فولتيّة المجمع الباعث القصوى ($V_{ce\ max}$).
- تيّار المجمع الأقصى ($I_{c\ max}$).
- القدرة المبدّدة القصوى ($P_{d\ max}$) وتعرف بأنّها $P_{d\ max} = V_{CE} \times I_C$.
- معامل كسب التيّار (h_{FE}).

ملاحظات مهمّة حول الترانزستور:

1. في معظم أنواع الترانزستورات لها جسم معدني، يستخدم هذا الجسم كمبدد حراريّ لتبريد الترانزستور.
2. توجد أنواع من الترانزستورات المعدنيّة يكون فيها الطرف الَّذي يحوي نتوءات هو الباعث (E)، والطرف الموصول مع الجسم المعدنيّ هو المجمع (C)، أما الطرف الثالث فهو القاعدة (B).
3. توجد أنواع من الترانزستورات المعدنيّة لها طرفان: هما الباعث (E) والقاعدة (B)، أما المجمع (C) فهو جسم الترانزستور المعدنيّ.

نشاط (2): لديك ترانزستور (BC547) وترانزستور (BC557) بيِّن بخطوات أو من خلال جدول كيفيّة تحديد صلاحية كلّ من هذه الترانزستورات، وأطراف كلّ منها. ابحث عن أنواع أخرى من الترانزستورات، ثم قارن بينها وبين ترانزستورات (BJT) من حيث التركيب والاستخدامات العمليّة.

نشاط (3): عند استخدام ساعة القياس الرقميّة (DMM)، وعلى وضعيّة فحص الديود، لفحص أحد الترانزستورات ومعرفة نوعه (PNP أو NPN) وتحديد أطرافه (E، B، C)، ظهرت القراءات المُبيّنة في شكل (6).



شكل (6): نشاط تحديد أطراف الترانزستور

المطلوب: بناء على القراءات الَّتي سجَّلتها ساعتا القياس، الَّتي تظهر في شكل (6) حدّد الآتي:

- نوع الترانزستور.
- أطراف الترانزستور.

5- أعطال ترانزستور ثنائيّ القطبيّة (BJT):

يمكن أن تتعطل الترانزستورات بطرق مختلفة، كأن تصبح إحدى وصلتَي الترانزستور مفتوحة الدارة، أو أن يحدث بها قصر، وأحياناً يحدث القصر على جميع أطراف الترانزستور، ويكون سبب ذلك التسخين الزائد، أو ارتفاع الفولتيّة.

6- نظام الترميز الخاص بالشركات المصنعة للترانزستور ثنائي القطبية (BJT):

أ- الشركات اليابانية:

تستخدم النظام الموضح في الجدول (1) من الرموز، تبدأ العناصر بالرمز (2S) ويتبعه حرف واحد ومجموعة من الأرقام, ولا يتم طباعة الرمز (2S) على جسم العنصر.

جدول (1): نظام الترميز للشركات اليابانية ومدلولاتها (بعد الرمز (2S))

الحرف	الوصف	
A	ترانزستور (PNP) ذو قدرة صغيرة للإستخدام العام	Purpose General Power Small (PNP)
B	ترانزستور قدرة من نوع (PNP)	Power (PNP)
C	ترانزستور (NPN) ذو قدرة صغيرة للإستخدام العام	Purpose General Power Small (NPN)
D	ترانزستور قدرة من نوع (NPN)	Power (NPN)

أمثلة:

- **C2611:** عند إضافة الرمز (S2) عليه يصبح الرقم المسجل في كتب البيانات كما يلي:
(2SC2611): وهو من نوع (NPN) وللإستخدامات ذات القدرة الصغيرة العامة .
- **B772:** عند إضافة الرمز (S2) عليه، يصبح الرقم المسجل في كتب البيانات كما يلي :
(2SB772): وهو من نوع (PNP) وللإستخدامات ذات القدرات المتوسطة ولجهود قليلة .

ب- الشركات الأمريكية:

وفي هذا النظام تستخدم الشركات الأمريكية رقماً متبوعاً بحرف (N) حيث يعطي الرقم الأول (1,2,3) دلالة عن عدد الوصلات في العنصر شبه الموصل، كما في الجدول (2).

جدول (2): نظام ترميز أمريكي (JEDEC) للعناصر شبه الموصلة

1N	ديود
2N	ترانزستور (BJT)
3N	(IGBT), (MOSFET)

أمثلة:

- **(2N1711):** وهو من نوع (NPN) وللإستخدامات ذات القدرة المتوسطة العامة، ويستخدم في المضخمات ذات التيارات العالية نسبياً والجهود المنخفضة .
- **(2N5401):** وهو من نوع (PNP) وللإستخدامات العامة ولجهود عالية نسبياً .

ج- الشركات الأوروبية:

يستخدم نظام ترميز يستخدم الأحرف من (A - Z) مكون من حرفين ليدل الأول على نوع المادة المصنوع منها العنصر وهو بالعادة أحد الحرفين التاليين وهما:

- **A:** عنصر (ترانزستور) مصنوع من الجرمانيوم .
- **B:** عنصر (ترانزستور) مصنوع من السيلكون .

أما الحرف الثاني فيدل على طبيعة الإستخدام كما في الجدول (3) .

جدول (3): نظام الترميز الأوروبي للعناصر الإلكترونية شبه الموصلة

الحرف الانجليزي الأول	الحرف الأبجدي الثاني
A: ترانزستور جرمانيون (GE)	**C:** ترانزستور الترددات المنخفضة
B: ترانزستور سليكون (SI)	**F:** ترانزستور الترددات العالية
	S: ترانزستور الوصل والفصل
	D: ترانزستور قدرة للترددات المنخفضة
	L: ترانزستور قدرة للترددات العالية

ويتبع العنصر بعد ذلك بثلاثة أرقام (BC141) و (BD137) أو حرف واحد ورقمين (B18).

ثانياً- ترانزستور آحادي الوصلة (Unijunction Transistor - UJT):

يعتبر الترانزستور آحادي الوصلة نوعاً خاصاً من الترانزستورات, وهو عنصر مصنوع من مادة نصف ناقلة وله ثلاثة أطراف.

1- تركيب وأطراف الترانزستور آحادي الوصلة:

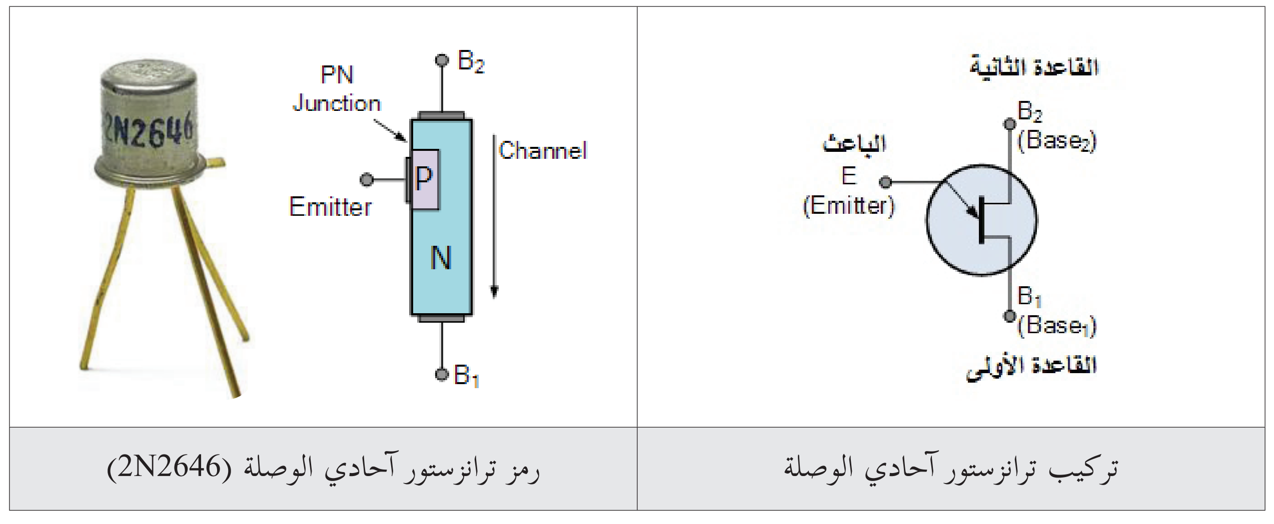
يتكون الترانزستور آحادي الوصلة من وصلة واحد (PN)، عبارة عن شريحتين:

أ- الشريحة السالبة: وهي ذات مساحة كبيرة ولها طرفان يمثلان:

- القاعدة الأولى (Base1)، ويرمز لها (B_1).
- القاعدة الثانية (Base2)، ويرمز لها (B_2) وهذه القاعدة أكثر ايجابية من سابقتها. (يسمى أحياناً بالترانزيستور ذو القاعدتين).

ب- الشريحة الموجبة: تسمى الباعث (Emitter)، ويرمز لها (E).

ويبين الشكل (7) تركيب وأطراف ورمزر الترانزستور آحادي الوصلة والشكل الأكثر استخداماً هو (2N2646)، ويأتي بغلاف (TO-18)، ويرسم طرف الباعث بشكل مائل لتمييزه.



تركيب ترانزستور آحادي الوصلة	رمز ترانزستور آحادي الوصلة (2N2646)

شكل (7): تركيب ورمزر ترانزستور آحادي الوصلة

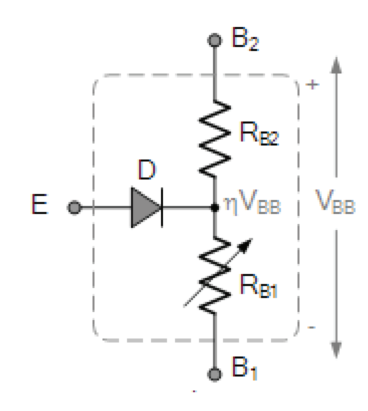
2- استخدامات الترانزستور آحادي الوصلة:

- يستخدم هذا العنصر في دارات المؤقتات والمذبذبات لقدح (إشعال) عناصر الكترونيات القدرة (مذبذب التراخي لتوليد نبضات القدح للثايروستور) ومولدات الإشارة, وتمتاز عناصر القدح بأنها تنتقل من حالة مستقرة إلى الحالة المستقرة الأخرى بشكل سريع جداً.

- لا يستخدم كمضخم لأن لهذا الترانزستور مقاومة سالبة عند ظروف معينة.

3- توصيل الترانزستور آحادي الوصلة:

يبين الشكل (8) الدائرة المكافئة لترانزستور آحادي الوصلة، حيث تمثل كل من القاعدتين(B1/B2) بمقاومة مرتبطة بها، وتكون المقاومة مقاسه ما بين كل قاعدة منهما والباعث (E).



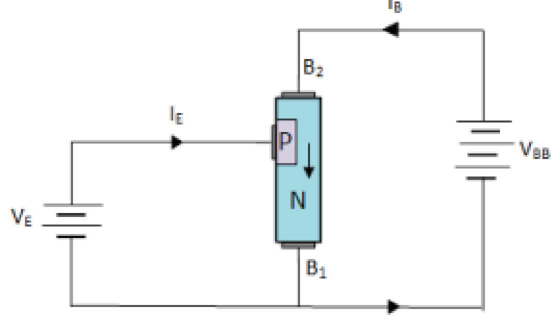
شكل (8): دائرة مكافئة لترانزستور آحادي الوصلة (UJT)

R_{B1}	تمثل المقاومة الداخلية بين الباعث (E) والقاعدة الأولى (B1), وهي مقاومة متغيرة.
R_{B2}	تمثل المقاومة الداخلية بين الباعث (E) والقاعدة الثانية (B2).

وتكون قيمة المقاومة ($R_{B2} > R_{B1}$) عادة، وهذا ما يميز القاعدة الأولى عن القاعدة الثانية، أما مجموع هاتين المقاومتين فيرمز لها بالرمز (R_{BB}) وتكون بحدود ($4 - 10K\Omega$).

يتم توصيل القاعدة الأولى (B1) بالقطب الأرضي والقاعدة الثانية (B2) بالقطب الموجب.

وتكون المقاومة بين القاعدة الأولى (B1) والباعث (E) ذات قيمة منخفضة في اتجاه ومرتفعة في الإتجاه الآخر، كذلك بين القاعدة الثانية (B2) والباعث (E). ويمكن التمييز بين القاعدة الأولى (B1) والقاعدة الثانية (B2) من خلال قيمة المقاومة، حيث تكون قيمة المقاومة المنخفضة بين الباعث (E) والقاعدة الثانية (B2) أقل من مثيلتها بين الباعث (E) والقاعدة الأولى (B1).



شكل (9): توصيل الترانزستور آحادي الوصلة

4- مبدأ عمل الترانزستور آحادي الوصلة:

- مصدر جهد الباعث (V_E) متغير القيمة ويعتبر المدخل للدائرة.
- يمر التيار في مسارين خلال الترانزستور: أحدهما ((B2) الى (B1))، والآخر ((E) الى (B1)).
- إن الجهد اللازم حتى يصبح الترانزيستور آحادي الوصلة في حالة توصيل يسمى «جهد القمة» (V_P)، تعتمد قيمته على جهد التغذية ومعاملات ترانزستور آحادي الوصلة المستخدم, ويساوي:

$$V_P = V_D + (\eta \times V_{BB})$$

η	معامل الكسب (نسبة الإبتعاد الجوهري) وتقع ضمن المجال (0.88 - 0.45)، وتكون قيمتها محسوبة من المصنع.
V_d	جهد الإنحياز الأمامي للديود في الدائرة المكافئة وتساوي (0.7V).
V_p	جهد القمة (جهد الباعث للقدح) وهو مركب من جهد القاعدة الأولى وجهد الديود.

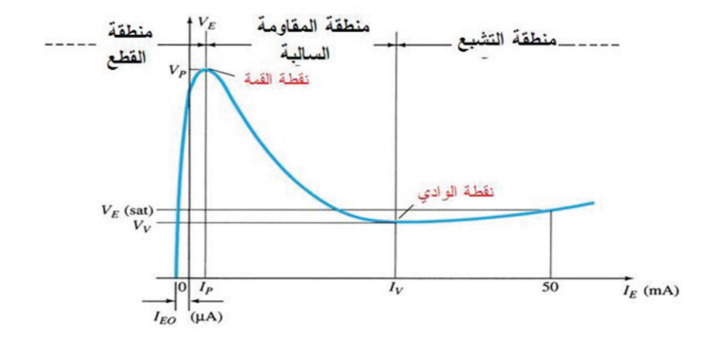
يبين الشكل (10) منحنى خصائص ترانزستور آحادي الوصلة، ويمكن تلخيص مبدأ عمل الترانزستور:

- **عندما يكون جهد الباعث أقل من جهد القمة ($V_E < V_P$):** لا يمر أي تيار ($I_E = 0$) ويكون في حالة القطع (OFF).
- **عندما يكون جهد الباعث أكبر أو يساوي جهد القمة ($V_P \leq V_E$):** يمر التيار ويكون في حالة التوصيل (ON) ويمر التيار في المسارين.
- يمكن إعادة ترانزتستور (UJT) الى حالة القطع (OFF) بتخفيض قيمة جهد الباعث (V_E) عن الحد الأدنى المسموح به.



ويلاحظ من الشكل (10) أن لمنحنى الخواص ثلاث مناطق:

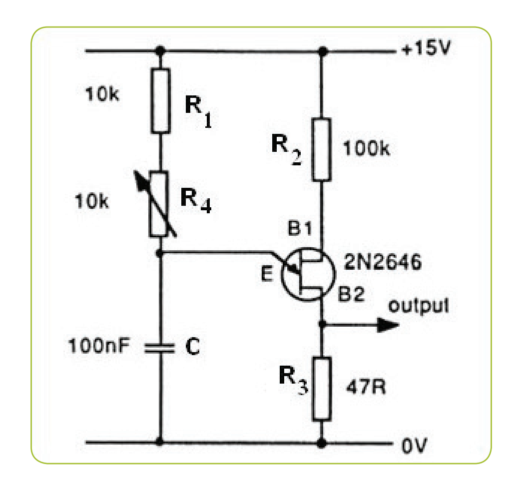
1. **منطقة القطع:** وفيها يكون ($I_E = 0$).
2. **منطقة المقاومة السالبة:** وفيها يزداد التيار (I_E) بنقص الجهد (V_E).
3. **منطقة التشبع:** وفيها يزداد التيار (I_E) بزيادة الجهد (V_E).



شكل (10): منحنى الخصائص لترانزستور آحادي الوصلة (UJT)

5- مذبذب التراخي:

- تقوم هذه الدائرة بتوليد إشارة جيبية ذات شكل سن المنشار.
- يستخدم هذه المذبذب في تطبيقات كثيرة من أهمها درارات توليد نبضات القدح للثايرستور.
- يستخدم فيه ترانزستور آحادي الوصلة، حيث يتم توصيل القاعدة الثانية (B_2) بالقطب الموجب من خلال مقاومة (R_2)، بينما يتم توصيل القاعدة الأولى (B_1) بالقطب السالب من خلال المقاومة (R_3)، ويتم التحكم بقيمة تردد الموجة (النبضات) الناتجة من خلال قيمة المقاومة الثابتة (R_1) والمقاومة المتغيرة (R_4) وكذلك سعة المكثف (C)، كما هو مبين في الشكل (11).



شكل (11): الترانزستور آحادي الوصلة كمذبذب تراخي

مبدأ العمل:

يتم شحن المكثف (C) من مصدر الجهد عن طريق كل من المقاومة الثابتة (R_1) والمقاومة المتغيرة (R_4)، حيث تزداد قيمة الجهد على طرفي المكثف بناءاً على قيم المقاومة الثابتة والمتغيرة وسعة المكثف، وبعد وصول قيمة الشحن للمواسع إلى قيمة الشحن الأقصى، يبدأ المكثف بتفريغ شحنته في الترانزستور آحادي الوصلة، وبسبب عمليتي الشحن والتفريغ المتكررتين يظهر الجهد على طرفي المكثف على شكل إشارة سن المنشار.

6- مقررات الترانزستور آحادي الوصلة (UJT):

- القدرة المبددة (Pd)، وتقاس بالميلي واط (mW).
- معدل تيار الباعث (Ie r.m.r)، وتقاس بوحدة الميلي أمبير (mA).
- جهد الباعث العكسي (V_{b2e})، ويقاس بوحدة الفولت (V).
- نبضة تيار الباعث القصوى (I_E)، وتقاس بوحدة الأمبير (A).
- الجهد بين طرفي القاعدة (B_1) والقاعدة (B_2) (V_{B2B1})، وتقاس بوحدة الفولت (V).
- درجة حرارة التشغيل، وتقاس بوحدة درجة مئوية.

والمثال التالي يعطي هذه البيانات لترانزستور آحادي الوصلة رقمه (2n2646) وذلك بالرجوع إلى كتب بيانات الشركة الصانعة، وهي ملخصة في الجدول (4):

الجدول (4): أهم القيم المقررة القصوى الخاصة بالترانزستور آحادي الوصلة (2n2646)

القيمة	الترميز	المصطلح بالعربية	المصطلح بالانجليزية
35V	V_{B2B1}	الجهد ما بين القاعدة (B1) و (B2)	Inter - Base Voltage
3.5V	$V_{B2B1sat}$	جهد الإشباع ما بين (B1) و (E)	Emitter - Base1 Sat. Voltage
30	V_{EB2}	الجهد ما بين (B2) و (E)	Emitter - Base2 Voltage
2A	I_E	تيار الباعث	Emitter Current
9.1K	R_{BB}	المقاومة ما بين القاعدتين	Static Inter - Base Resistance
30mW	P_D	قدرة تبديد الحرارة	Total Power Dissipation
0.75	η	معامل الكسب	DC Current Gain

7- دائرة فحص الترانزستور آحادي الوصلة:

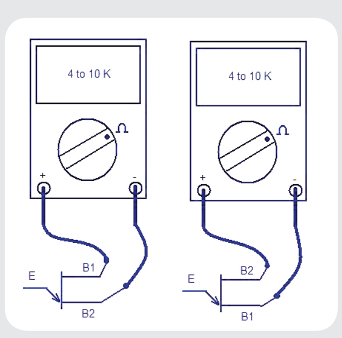
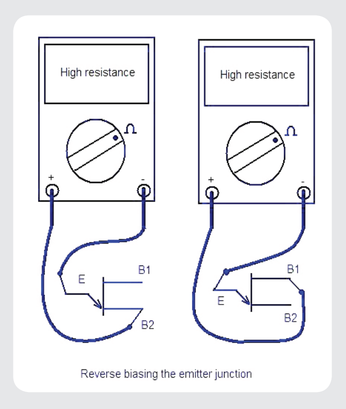
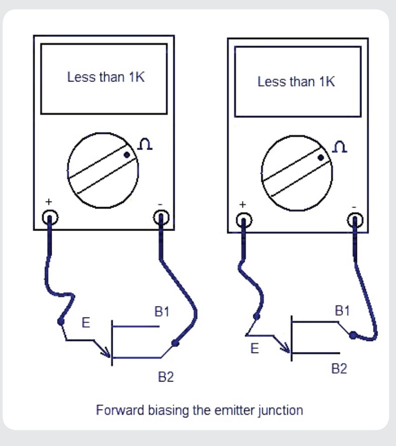
بشكل عام يباع الترانزستور آحادي الوصلة في عبوة حديدية, وعند الإمساك بالترانزستور بالمقلوب والنظر الى أطرافه الثلاثة, تكون أطرافه، كما في الشكل (12).



شكل (12): مسقط سفلي لترانزستور آحادي الوصلة

أ- فحص الترانزستور آحادي الوصلة معروف أطرافه:

- ضبط جهاز القياس (DMM) لقياس المقاومة (Ω).

- اقرأ المقاومة بين القاعدة الأولى (B1) والقاعدة الثانية (B2)، ثم إعكس وضع الأسلاك وخُذ قراءة أُخرى, لا بد أن تتساوى القراءتين، (تقريباً على قيمة مقاومة مرتفعة (4 - 10KΩ)، شكل (13).	 شكل (13): قياس المقاومة بين قياس المقاومة بين (B2/B1)
- ثبت طرف جهاز القياس الأسود (-) على طرف الباعث (E), والطرف الأحمر (+) على القاعدة الأولى (B1) مرة وعلى القاعدة الثانية (B2) مرة أخرى ونقيس المقاومة, لا بد أن تتساوى القراءتين, (تقريباً على قيمة مقاومة مرتفعة (100KΩ)، شكل (14).	 شكل (14): قياس المقاومة بين (E/B1) و (E/B2)
- ثبت طرف جهاز القياس الأحمر (+) على طرف الباعث (E), والطرف الأسود (-) على القاعدة الأولى (B1) مرة وعلى القاعدة الثانية (B2) مرة أخرى ونقيس المقاومة, لا بد أن تتساوى القراءتين, (تقريباً على قيمة مقاومة منخفضة أقل من (1KΩ), شكل (15).	 شكل (15): قياس المقاومة بين (E/B1) و (E/B2)

ب- فحص الترانزستور آحادي الوصلة غير معروف أطرافه:

- ضبط جهاز القياس (DMM) لقياس المقاومة (Ω).
- نحدد أولاً كل من (B1) و (B2).
- ملامسة أطراف جهاز القياس بغض النظر عن قطبيتها, لطرفين من أطراف الترانزستور بشكل تبادلي, حتى الحصول على قراءة لقيمة المقاومة, والتي يجب أن تكون (4 - 10KΩ), وعليه يكون الطرف الثالث هو الباعث (E).
- نثبت طرف جهاز القياس الأحمر (+) على طرف الباعث (E)، والطرف الأسود (-) على القاعدة الأولى (B1) مرة وعلى القاعدة الثانية (B2) مرة أخرى ونقيس المقاومة.
- تكون قيمة المقاومة المقاسة الأعلى هي مقاومة الطرفين (E/B2)، وهكذا نحدد الطرفين (B1) و (B2).

ثالثاً- ترانزستور تأثير المجال (Field Effect Trasistor - FET):

هو عنصر ذو ثلاثة أطراف هي:

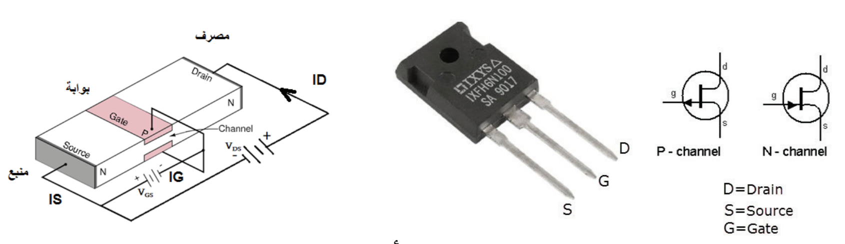
- **المنبع (Source)**، ويرمز له بالرمز (S).
- **المصرِّف (Drain)**، ويرمز له بالرمز (D).
- **البوّابة (Gate)**، ويرمز له بالرمز (G).

ويمتاز بأنه أحاديّ القطبيّة، أيّ أن حاملات الشحنة من نوع واحد، وهي الإلكترونات في ترانزستور تأثير المجال ذي القناة السالبة (N - Channel) أو الفجوات في ترانزستور تأثير المجال ذي القناة الموجبة (P - Channel) ويوجد نوعان من هذا الترانزستور هما:

- ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة (Junction Field Effect Transistor - JFET).
- ترانزستور تأثير المجال نوع الأكسيد المعدني (Metal Oxide Semiconductor FET - MOSFET).

1- ترانزستور تأثير المجال ذو الوصلة (JFET):

يُبيِّن الشكل (16) تركيب هذا الترانزستور، ويتكوّن من لوح شبه موصل، سالب أو موجب، يركّب على وجهه العلويّ والسفليّ قطعتان من مادة شبه موصلة معاكسة في القطبيّة لقطبيّة اللوح، فإمّا أن يكون اللوح موجباً والقطعتان سالبتين، أو عكس ذلك، ويُسمّى الترانزستور في الحالة الأولى ذا القناة الموجبة (P - Channel)، بينما يُسمّى في الحالة الثانية ذا القناة السالبة (N - Channel).



شكل (16): تركيب ترانزستور تأثير المجال ذي الوصلة ورمزه



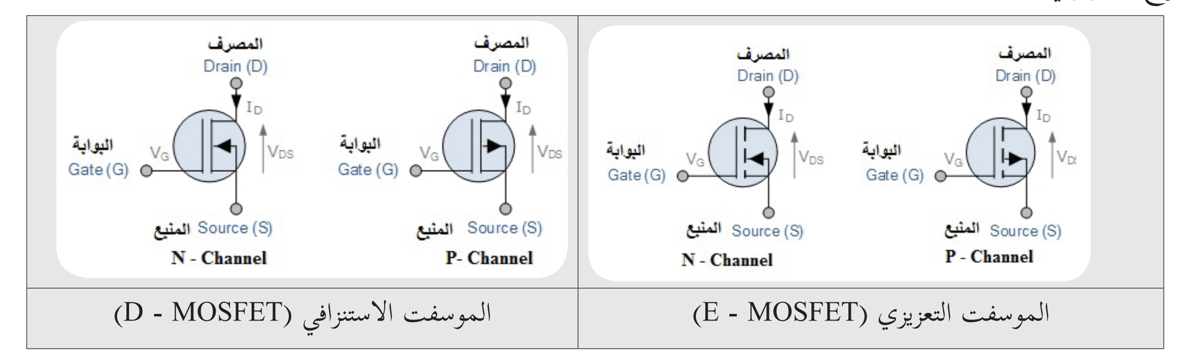
2- ترانزستور تأثير المجال نوع الأكسيد المعدني (MOSFET):

يطلق أيضا على الترانزستور اسم ترانزستور تأثير المجال ذي البوّابة المعزولة (Insulated Gate FET)، وله ثلاثة أطراف:

- المنبع (S).
- المصرِّف (D).
- البوّابة (G).

وقد يكون ذا قناة سالبة أو موجبة، ويوجد نوعان من هذا الترانزستور، كما في الشكل (17):

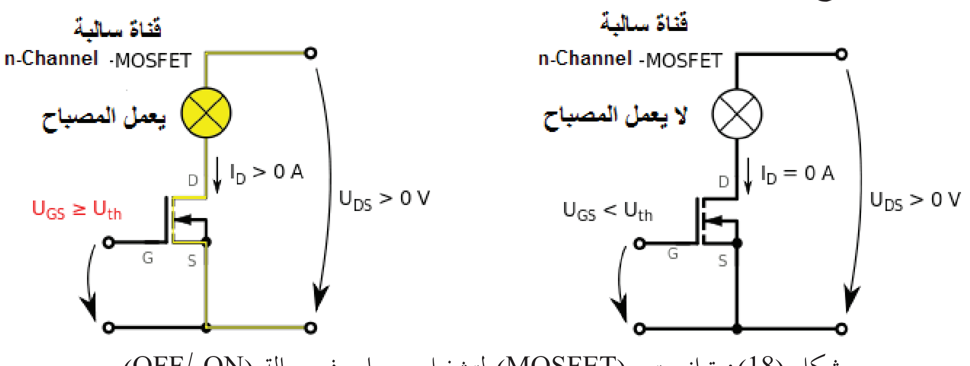
- النوع الاستنزافي (D - MOSFET).
- النوع التعزيزي (E - MOSFET).



شكل (17): رمز أنواع الترانزستور (MOSFET)

أ- مبدأ العمل ترانزستور (MOSFET):

يمتاز ترانزستور (MOSFET) بمقاومة دخله العالية جدّاً، حيث إنَّ البوّابة معزولة بطبقة عازلة من أكسيد السليكون، ويُبيِّن الشكل (18) ترانزستور (MOSFET) ذا القناة السالبة (التعزيزي) (N - Channel)، ويتمّ التحكّم بمقاومة الترانزستور بين المصرف والمنبع (R_{DS}) عن طريق جهد البوّابة/المنبع (V_{GS})، وبالتالي التحكّم بالتيّار بين المصرف (D) والمنبع (S) ($I_D = I_{DS}$)، فإذا قلّ جهد البوّابة عن جهد العمل ($V_{th} < 0$) - وعادة ما يكون ما بين (1V - 3V) لكي يعمل- فلا يمرّ تيّار ($I_D = 0$) فلا يعمل المصباح، وإذا زاد جهد البوّابة عن جهد العمل ($V_{GS} > V_{th}$) فيمر تيّار ($I_D > 0$) خلال الترانزستور، فيعمل المصباح.



شكل (18): ترانزستور (MOSFET) لتشغيل مصباح في حالة (OFF/ ON)

ب- تحديد صلاحية ترانزستور من نوع (MOSFET):

من المعروف أن ترانزستور تأثير المجال حسّاس للكهرباء الساكنة، حيث تؤدي إلى تلفه، لذلك يتمّ حمايته أثناء التداول من الكهرباء الساكنة بقصر أطرافه بقطعة من المطاط الموصل، أو يتمّ أثناء التصنيع إضافة ديود الزينر موصولين على التعاكس، ويوصلان بين البوّابة (G) والمنبع (S). كذلك يتمّ إضافة ديود بين مصدر الجهد والمنبع (S) لحماية الترانزستور من الجهود العكسيّة، وإعادة الطاقة المختزنة في حالة الأحمال الحثّيّة إلى المصدر أثناء عمليّة الفتح والإغلاق للترانزستور.

من الصعب تحديد أطراف وصلاحية الترانزستور (MOSFET) مثل الترانزستورات الأخرى بسبب وجود مقاومة عالية بين البوّابة والمصرف (D) والمنبع (S)؛ لذلك يتمّ تحديد أطرافه باستخدام كتب المواصفات.

ج- خطوات تحديد صلاحية ترانزستور (N - CHANNEL - MOSFET) باستخدام جهاز قياس يوفر جهداً كافياً:

- وضع ساعة القياس على وضعية الديود.
- بواسطة سلك وصّل البوّابة (G) والمنبع (S) لجعل قصر بينهما؛ وذلك لتفريغ البوّابة من أيّ شحنة كهربائيّة.
- تثبيت الطرف السالب (الأسود) لجهاز الفحص على المنبع (S).
- وضع الطرف الموجب على المصرف (D) نحصل على قراءة (O.L)؛ لأنّ جهد البوّابة (G) صفر، أما إذا كانت المقاومة قليلة فهو تالف.
- مع تثبيت الطرف السالب على المنبع (S) انقل الطرف الموجب على البوّابة (G)، فيحصل الترانزستور على شحنة موجبة على البوّابة (G) من ساعة القياس، ثم أعد الطرف الموجب لساعة القياس إلى المصرف (D)، ستلاحظ أن المقاومة بين المصرف (D) والمنبع (S) قليلة، أما إذا بقيت المقاومة عالية فيكون تالفاً.
- لزيادة التأكيد على صلاحية ترانزستور (MOSFET) بواسطة سلك وصّل طرفي البوّابة (G) والمنبع (S)، كما في الخطوة رقم (2)، ستلاحظ أن المقاومة عادت عالية جدّاً بين المصرف (D) والمنبع (S)، وغير ذلك يكون تالفاً.
- أما في حالة ترانزستور (P - CHANNEL - MOSFET) فهي عكس الخطوات تماما، حيث يتمّ تثبيت الطرف الأحمر لساعة القياس على المنبع (S)، وهكذا.

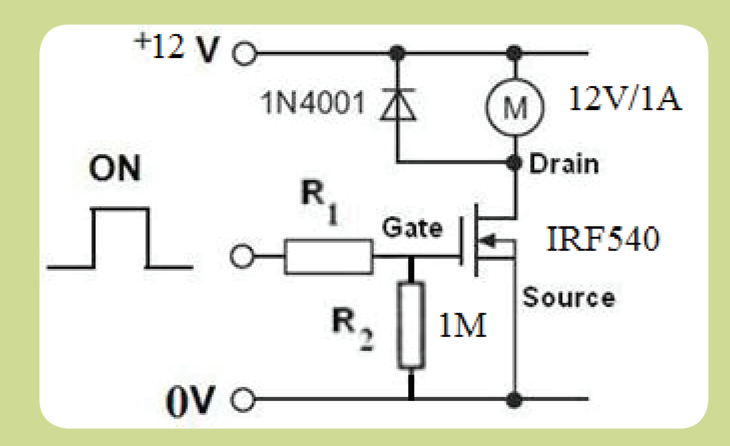
أما الطريقة الأخرى لفحص ترانزستور (MOSFET)، فتتم بناء الدائرة كما هو مبيّن في الشكل (18) أعلاه.

- **يمتاز ترانزستور (MOSFET) على ترانزستور ثنائيّ القطبيّة (BJT) بما يأتي:**
  - يبدي مقاومة دخل عالية (عدة ميجا أوم)؛ مما يجعل عمليّة التشغيل والإطفاء سهلة.
  - يعمل على تيّارات وجهود أعلى.
  - مستوى الضجيج منخفض مقارنة بترانزستور ثنائيّ الوصلة.
  - لا يتأثر بالحرارة مثل ترانزستور ثنائيّ الوصلة.

تمرين (1): اختر عدداً من ترانزستور (MOSFET)، ثم قم فحصها، وعبىء الجدول الآتي:

اسم العنصر	نوع العنصر	الرمز	التركيب	مبدأ العمل	فحص العنصر	التطبيقات
ترانزستور MOSFET	N - CHANNEL					
	P - CHANNEL					

تمرين (2): قم بتوصيل الدائرة في الشكل (19)، بحيث يعمل ترانزستور الموسفت كمفتاح كهربائيّ لتشغيل محرّك تيّار مستمرّ؟



شكل (19): دائرة تشغيل المحرّك بواسطة ترانزستور نوع موسفت (MOSFET)

رابعاً- ترانزستور ثنائي القطبية معزول البوابة (Insulated Gate Bipolar Transistor - IGBT):

سبق أن تكلمنا عن ترانزستور (MOSFET) بأنه عنصر محكوم بالجهد يحتاج إلى تيّار قليل من أجل تشغيله، ويمكنه العمل على تردّدات عالية. ولكن من سيئاته أن مقاومته في حالة التوصيل تزداد بزيادة الجهد الذي يستطيع العمل عليه مما يزيد من القدرة المبددة فيه عند استخدامه على جهود عالية وتيّارات عالية. لذلك فقد تمَّ تصنيع ترانزستور (IGBT) كعنصر يأخذ ميزات كلّ من ترانزستور (MOSFET)، وترانزستور ثنائيّ القطبيّة (BJT)، ويقلل من مساوئهما. ويمكن تلخيص مميزات ترانزستور (IGBT) فيما يأتي:

- هبوط قليل للجهد على طرفي الترانزستور أثناء التوصيل؛ مما يجعل القدرة المبددة فيه قليله.
- كثافة تيّارية عالية؛ مما يمكن من بناء عناصر بمقرّرات تيّارية عالية وحجم صغير.
- ممانعة دخل عالية؛ مما يجعل القدرة اللازمة لتشغيله قليلة، وبالتالي بساطة دائرة التشغيل وسهولة إطفاء العنصر مقارنة بالترانزستور العاديّ والثايرستور.

أما بالنسبة للسرعة المفتاحية فإنّ ترانزستور (IGBT) له سرعة مفتاحيه أعلى من الترانزستور ثنائيّ القطبيّة (BJT)، ولكن أقل من ترانزستور (MOSFET). ويستخدم ترانزستور (IGBT) بكثرة في دارات إلكترونيّات القوى. فهو يستخدم في دارات العواكس (Inverters) المستخدمة للتحكم بسرعة المحرّكات، ودارات تغيير عرض النبضة (PWM)، ومصادر القدرة الاحتياطية (UPS)، ومصادر القدرة المفتاحية (SMPS) ودارات القدرة الأخرى الَّتي تتطلب سرعة مفتاحيه وفقد قليل للقدرة وتيّار عالي وقد تمَّ تصنيع وحدات من هذا العنصر تعمل على تيّارات تصل إلى (1200A) وجهود تصل إلى (1700V). وتصنع الترانزستورات (IGBT) في دارات متكاملة تحتوي على ترانزستور واحد أو اثنان أو ستة بحيث تقوم الدارة المتكاملة بعمل محدّد كتلك المستخدمة في بناء عاكس القدرة ثلاثيّ الطور، كما في الشكل (21).



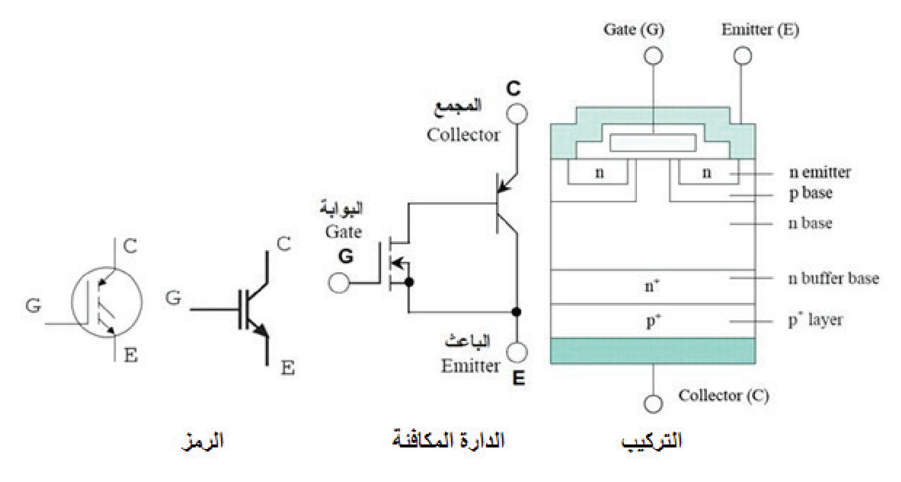




شكل (21): بعض أشكال ترانزستور (IGBT)

1- تركيب ترانزستور (IGBT) ورمزه:

يُبيِّن الشكل (22) تركيب ترانزستور (IGBT) ورمزه.



شكل (22): تركيب ورمز ترانزستور (IGBT)

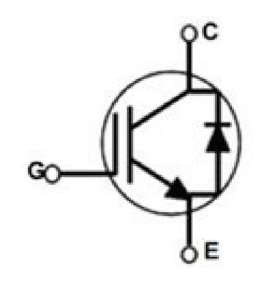
من الشكل يتضح أن لهذا العنصر ثلاثة أطراف:

أ- **البوّابة (Gate)**، ويرمز له بالرمز (G)

ب- **المجمع (Collector)**، ويرمز له بالرمز (C)

جـ- **الباعث (Emitter)**، ويرمز له بالرمز (E)

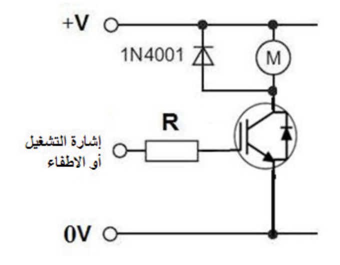
ويتضح من الدارة المكافئة أن هذا الترانزستور يكافئ ترانزستور (BJT) وترانزستور (MOSFET) موصولان بعضهما مع بعض. ولا يتكوّن ضمن التركيب الأساسيّ لهذا العنصر أيّ ديود بين المصعد (A) والمهبط (K). لهذا ونظراً إلى الحاجة لهذا الديود عند تشغيل العنصر في الدارات الَّتي تحتوي على أحمال حثِّيَّة كالمحرّكات مثلاً، تقوم الشركات المصنِّعة لهذا العنصر بإضافة هذا الديود ضمن نفس الترانزستور وتوصيله مع العنصر، كما في الشكل (23).



شكل (23): إضافة ديود في ترانزستور (IGBT)

2- مبدأ عمل ترانزستور (IGBT):

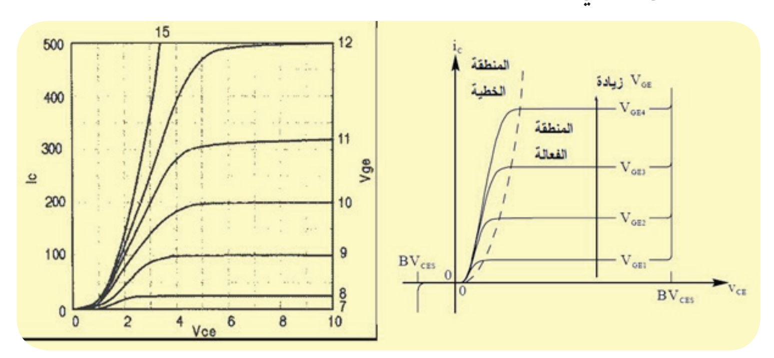
يعمل ترانزستور (IGBT) بطريقة مشابهة لعمل ترانزستور (MOSFET)، ويعمل في دارات إلكترونيّات القوى كمفتاح، كما في الشكل (24).



شكل (24): دارة ترانزستور (IGBT) يعمل كمفتاح

ويمكن تلخيص مبدأ عمل العنصر بما يأتي:

- وصل المجمع (C) مع الطرف الموجب للمصدر والباعث (E) مع الطرف السالب.
- عند تطبيق جهد (V_{GE}) أقل من (+15V) يتحوّل العنصر إلى حالة الوصل، ويكون الجهد (V_{CE}) قليلاً، ويتمّ تطبيق جهد المصدر تقريباً على طرفي الحمل.
- عند تطبيق جهد (V_{GE}) من (-5V إلى -15V) يتحوّل العنصر إلى حالة الفصل، ويكون الجهد (V_{CE}) عالي القيمة، ويكون الجهد على طرفي الحمل مساوياً للصفر.



ويُبيِّن الشكل (25) منحنيات الخصائص لترانزستور (IGBT).

من منحنيات الخصائص، يمكن تلخيص خصائص العنصر كما يأتي:

- يتم توصيل المجمع (C) بالطرف الموجب والباعث (E) بالطرف السالب.
- عندما يكون الجهد على البوّابة (G) مساوياً صفر فولت، أو ذا قيمة سالبة، فإنّ (IGBT) يكون في حالة القطع، ولا يمرّ أيّ تيّار بين المجمع (C) والباعث (E).
- عند زيادة الجهد على البوّابة (G) بالنسبة للباعث (E) في الاتجاه الموجب تدريجياً، يبقى العنصر في حالة القطع حتى الوصول إلى قيمة جهد معينة (V_T)، يبدأ عندها التيّار بالسريان من المجمع (C) إلى الباعث (E). ويطلق على هذا الجهد جهد القطع.
- عند أيّ قيمة لجهد البوّابة - الباعث (V_{GE}) (أكبر من جهد القطع) هناك حدّ أقصى للتيّار الذي يمكن تمريره في العنصر من دون زيادة قيمة هبوط الجهد على طرفي العنصر بقيمة كبيرة. بحيث إنَّه عند زيادة جهد المجمع الباعث (V_{CE}) فإنّه ستكون هناك في البداية زيادة في التيّار إلى أن نصل إلى تيّار معين تسمى تيّار الإشباع.

لتشغيل ترانزستور (IGBT) كمفتاح، يجب أن يكون هبوط الجهد على طرفي الترانزستور أقل ما يمكن في حالة الوصل (ON). أيّ أن الترانزستور يجب أن لا يدخل في منطقة الإشباع. وذلك من أجل أن تكون القدرة المبددة، التي تتناسب طردياً مع التيّار المارّ وفرق الجهد (V_{CE}) أقل ما يمكن.

3- تحديد أطراف ترانزستور (IGBT):

استنادا إلى القراءات المتوقّعة لدى فحص الترانزستور (IGBT) فإنّ تحديد أطراف الترانزستور (IGBT) (المزود بديود داخلي) يكون بوضع جهاز (DMM) على وضع الديود، ومن ثم البدء بأخذ قراءات بين أطراف الترانزستور (IGBT) حتى الحصول على قراءة تكافئ ديوداً في الاتجاه الأماميّ. عند ذلك يمكن افتراض أن الطرف الموجب لـ (DMM) موصول مع الباعث (E)، والطرف السالب موصول مع المجمع (C)، والطرف الثالث هو البوّابة (G)، ويجب عندها متابعة التأكد من تحديد الأطراف بواسطة تنفيذ الفحوصات كما هو مبيّن أعلاه.

4- فحص ترانزستور (IGBT):

تنبيه: يعدّ ترانزستور (IGBT) من العناصر الحسّاسة للكهرباء الساكنة الَّتي قد تؤدي إلى تلف العنصر. لذلك فعند تناول هذا العنصر يجب اتخاذ جميع الاحتياطات اللازمة لحمايته من الكهرباء الساكنة التي تشمل:

- إبقاء أطراف العنصر موصولة بعضها مع بعض بواسطة زنبركات معدنية، أو غرزها في مواد موصلة.
- لبس الأساور الموصولة مع الأرضي.
- أن تكون أطراف كاويات اللِّحام مؤرّضة.
- عدم توصيل العنصر من الدائرة أو فكّه، وهي موصولة مع مصدر الجهد.

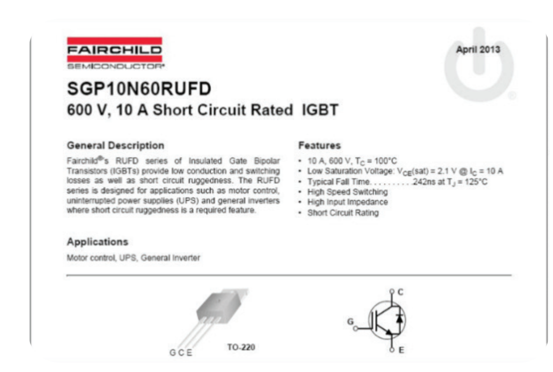
لفحص الترانزستور (IGBT) باستخدام جهاز (DMM)، لا بد من الانتباه أن أجهزة (DMM) تختلف من حيث الجهد الذي يتوافر على طرفي الجهاز عند استخدامه للفحص سواء على تدريج الأوم أو الديود. حيث إنَّه كلما كان الجهاز يعمل على جهد أعلى من (3V) تكون إمكانيات الجهاز أعلى لفحص العناصر الإلكترونيّة وظيفياً. وعلى ذلك ولفحص الترانزستور (IGBT) بواسطة جهاز (DMM) يوفر جهداً ذا قيمة كافية، يتمّ اتّباع الخطوات الآتية:

- فك الترانزستور من الدارة.
- تحديد أطراف الترانزستور من كتب البدائل.
- التأكّد من عدم لمس أطراف الترانزستور باليد أثناء تنفيذ خطوات الفحص.
- وضع جهاز (DMM) على وضع الديود.
- عمل قصر دارة بين البوّابة (G) والباعث (E)، ثم وضع الطرف الموجب لجهاز الفحص على المجمع (C) والسالب على الباعث (E). يجب الحصول على قراءة عالية تدلّ على دائرة مفتوحة. ومن ثم يتمّ وضع الطرف الموجب لجهاز الفحص على الباعث (E)، والسالب على المجمع (C)، حيث يتمّ الحصول على قراءة منخفضة تدلّ على وجود ديود إذا كان العنصر مزوداً بديود، أو قراءة عالية إذا لم يكن العنصر مزودا بديود داخلي.

وفي العادة فإنّ العطل في ترانزستور (IGBT) يكون على شكل قصر دارة بين المجمع (C) والباعث (E).

5- نشرة البيانات (Data Sheet):

تعطي نشرة البيانات المعلومات الكهربائيّة والميكانيكيّة الكاملة عن العنصر الإلكترونيّ، فهي تبيّن القيم المقرّرة والقصوى للتيّارات والجهود الكهربائيّة، وكذلك الأبعاد الميكانيكيّة للعنصر، بالإضافة إلى شكل العنصر وتحديد أطراف التوصيل للعنصر، ويمكن الحصول على نشرة البيانات لأي عنصر إلكترونيّ بإدراج اسم العنصر في محرّك البحث (Google) على شبكة الإنترنت، كما في الشكل (26).



FAIRCHILD SEMICONDUCTOR®

April 2013

SGP10N60RUFD

600 V, 10 A Short Circuit Rated IGBT

General Description

Fairchild®'s RUFD series of Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBTs) provide low conduction and switching losses as well as short circuit ruggedness. The RUFD series is designed for applications such as motor control, uninterrupted power supplies (UPS) and general inverters where short circuit ruggedness is a required feature.

Features

- 10 A, 600 V, T_C = 100°C
- Low Saturation Voltage: $V_{CE}(sat)$ = 2.1 V @ I_C = 10 A
- Typical Fall Time. . . . . .242ns at T_J = 125°C
- High Speed Switching
- High Input Impedance
- Short Circuit Rating

Applications

Motor control, UPS, General Inverter

شكل (26): مقطع من نشرة البيانات الخاصّة بترانزستور (IGBT) نوع SGP**10N60**RUFD

- **ومن أهم المواصفات الفنيّة الخاصّة بترانزستور (IGBT) ما يأتي:**
  - **جهد المجمع - الباعث (V_{CES}):** أقصى جهد يمكن توصيله بين المجمع (C) والباعث (E).
  - **تيّار المجمع (I_C):** أقصى تيّار يمكن تمريره في العنصر بشكل مستمرّ.
  - **القدرة المبددة القصوى (P_D):** أقصى قدرة يمكن تبديدها ضمن شروط معينة في الترانزستور.
  - **جهد البوّابة - الباعث الأقصى (V_{GE}):** أقصى جهد يمكن تطبيقه بين البوّابة (G) والباعث (E).

نشاط (5): أكمل الجدول التالي؟

اسم العنصر	نوع العنصر	الرمز	التركيب	مبدأ العمل	فحص العنصر	التطبيقات
ترانزستور (IGBT)	N - TYPE					
	P - TYPE					

ويُبيِّن الجدول (5)، مقارنة بين استخدام اشهر انواع الترانزستورات وخصائص كلّ منها تبعا لِعدّة اعتبارات.

جدول (5): مقارنة خصائص واستخدامات ترانزستورات القدرة الرئيسية الثلاثة

الرقم	المقارنة	ترانزستور (BJT)	ترانزستور (MOSFET)	ترانزستور (IGBT)
1	أقصى جهد يتحمّله	أقل من (1000V)	أقل من (1000V)	أكبر من (1000V)
2	أقصى تيّار يتحمّله	أقل من (500A)	أقل من (200A)	أكبر من (500A)
3	طريقة التحكّم بالبوّابة	التيّار	الجهد	الجهد
4	مقاومة الدخل	منخفضة	مرتفعة	مرتقعة
5	مقاومة الخرج	منخفضة	متوسطة	منخفضة
6	السرعة التبديليّة	بطيئة	عالية	متوسطة
7	التكلفة	قليلة	متوسطة	عالية

4 - 6 الموقف التعليميّ السادس: التّعرّف إلى المفتاح الترانزستوري (دارة المواءمة)

وصف الموقف التعليميّ التّعلّميّ:

حضر صاحب مصنع شيبس إلى مؤسسة صيانة الآلات الصناعيّة، وعرض لوحة إلكترونيّة تحتوي على متحكم إلكترونيّ وترانزستورات وريلهات، واشتكى من أنّ أحد مخارج اللَّوحة المسؤولة عن تشغيل حمل معين لا يعمل، وطلب تحديد سبب الخلل وإصلاحه.

العمل الكامل:

خطوات العمل	وصف الموقف الصّفّيّ	المنهجيّة (إستراتيجيّة التّعلّم)	الموارد حسب الموقف الصّفّيّ
أجمع البيانات وأحلّلها	• أجمع البيانات من صاحب مصنع شيبس عن: - نوع الجهاز الَّذي يستخدم اللَّوحة وآليّة عمله. - طبيعة استخدامه. - هل تمَّ عرض اللَّوحة على شخص آخر من قبل. • أجمع البيانات عن: - نوع الجهاز والمخطّط الكهربائيّ للوحة الإلكترونيّة. - القطع الإلكترونيّة المكونة للوحة، ومواصفاتها، ومبدأ عملها. - أنواع الترانزستورات المستخدمة في اللَّوحة. - كيفيّة استخدام أجهزة القياس لتحديد أطرافها وصلاحيتها. - مبدأ عمل دائرة المواءمة وتطبيقاتها. - أنواع الريلهات ومواصفاتها. - كيفيّة فكّ الريلهات عن اللَّوحة وتركيبها بشكل سليم وفحصها. - أعطال الريلهات.	• البحث العلميّ. • الحوار والمناقشة.	• قرطاسيّة وأقلام. • وثائق (كتالوجات). • الشبكة العنكبوتية.
أخطّط، وأقرّر	• أصنف البيانات وتبويبها. • أحدد الأدوات والعِدَد والأجهزة اللازمة للعمل. • أحدد خطوات العمل: - رسم تركيب ورموز الترانزستورات المتنوّعة وتحديد أطرافها. - تحديد المواصفات الفنّيَّة للريلهات حسب نوعها. - تحديد الجهد الكهربائيّ الَّذي تعمل الريلهات المتنوّعة وآليّة العمل. - إعداد جدول بالبدائل المقترحة لاستبدال القطع التالفة ومواصفاتها وجدوى الاستبدال. • إعداد جدول زمنيّ للتنفيذ.	• الحوار والمناقشة • العمل التعاونيّ. • البحث العلميّ.	• قرطاسيّة. • وثائق. • نموذج الجدول الزمنيّ.

أُنفِّذ	• استخدام أدوات السلامة المهنيّة وفقاً للمعايير الفنّيّة وأنظمة السلامة ذات الصلة. • استخدام العِدَد والأدوات المناسبة لعمليّة الفكّ والتركيب والتثبيت. • تتبّع مخطّط لوحة التحكّم، وفحص مكوّناته باستخدام أجهزة القياس، وتحديد الخلل، والقيام باستبدال القطع التالفة. • فك الترانزستورات عن اللوحات الإلكترونيّة، وفحصها، وتحديد أطرافها. • استخراج مواصفات الترانزستور من كتاب المواصفات. • تحديد أنواع ترانزستورات (BJT). • قياس المقاومة بين أطراف الترانزستورات من نوع (PNP وNPN) وتسجيل القيم ومقارنتها. • تحديد أطراف ترانزستورات (BJT). • تحديد أطراف الريلي ونوعه، وفحصه.	• التّعلّم التعاونيّ. • البحث العلميّ. • الحوار والمناقشة.	• صندوق العِدّة. • القطع اللازمة لعمليّة التركيب والتشغيل والصيانة. • أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة. • أدوات لحام العناصر الإلكترونيّة وفكّها.
أتحقّق	• التّحقّق من السلامة والاحتياطات الّتي تمّ أخذها بعين الاعتبار أثناء الفكّ والتركيب. • التّحقّق من توصيلات لوحة التحكّم حسب المخطّط. • تركيب اللّوحة على الجهاز، وتشغيلها، والتأكّد من عملها. • التّحقّق من جودة العمل.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة. • وثائق.
أوثّق، وأعرض	• إنشاء قوائم خاصّة بالعِدَد اليدويّة ووسائل القياس المستخدمة. • تحديد جدول زمنيّ للتسليم. • تسليم قوائم العمل لمسؤول الصيانة. • فتح ملفّ بالحالة.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• جهاز حاسوب. • جهاز عرض. • قرطاسيّة.
أقوّم	• رضا صاحب المصنع بما يتناسب مع طلبه. • المطابقة مع المواصفات والمعايير.	• الحوار والمناقشة. • البحث العلميّ.	• نماذج التقويم. • طلب الزبون.

الأسئلة:

1. أفسِّر كيفيّة عمل الترانزستور كمفتاح إلكترونيّ بديل للمفتاح الميكانيكيّ وقارن بينهما.
2. أوضِّح مفهوم دائرة الموائمة وأهمِّيّتها في تشغيل الأحمال المختلفة.
3. أفسِّر المواصفات الأساسيّة للريليهات.

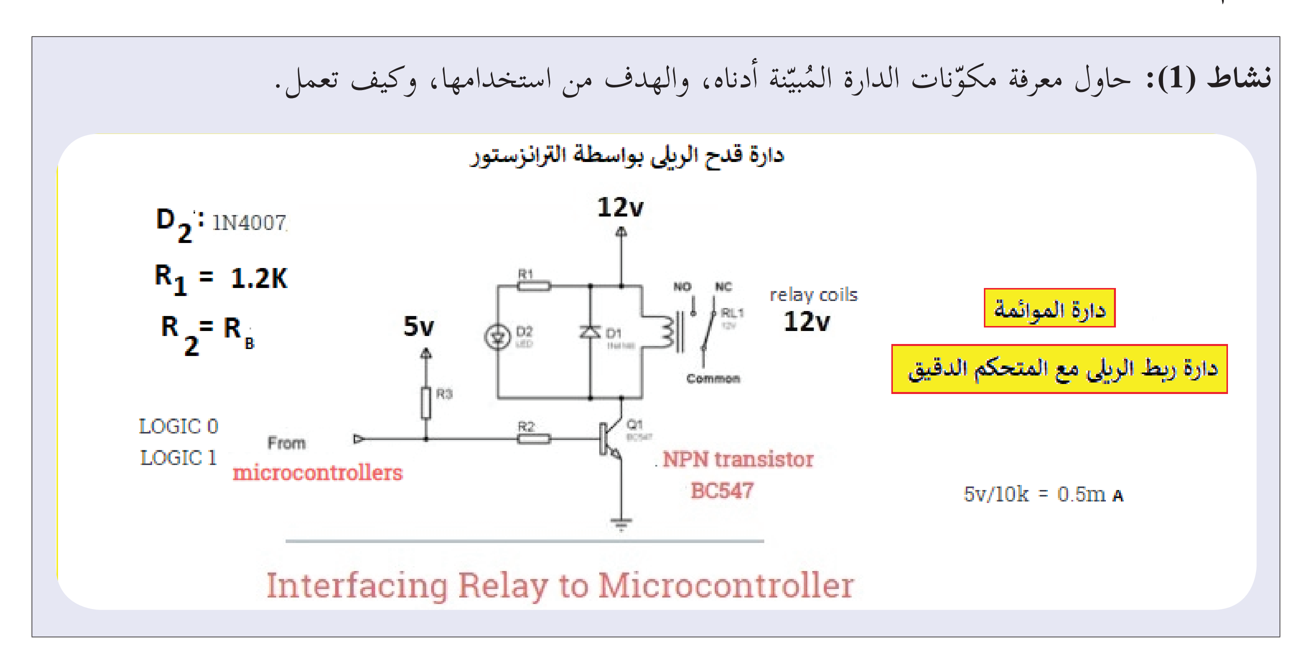
4 أبيِّن كيف يتمّ استبدال مُرحّل تالف من لوحة إلكترونيّة.

5 أفسِّر سبب توصيل ديود على التوازي مع طرفي المرحل.

6 أبيِّن كيف يتمّ حساب قيمة التيّار اللازم لتفعيل ملفّ المرحل.

أتعلّم:

نشاط (1): حاول معرفة مكوّنات الدارة المُبيّنة أدناه، والهدف من استخدامها، وكيف تعمل.



أولاً- المفتاح الترانزستوريّ نوع (BJT):

يُعدّ تشغيل الترانزستور مفتاحاً إلكترونيّاً كبديل عن المفاتيح الميكانيكيّة من أهم تطبيقات الترانزستور في الدوائر الإلكترونيّة وخصوصاً الدوائر الرقميّة، حيث يستخدم في عمليّة وصل الأحمال وفصلها.

ويتميز المفتاح الترانزستوري عن المفتاح الميكانيكيّ بما يأتي:

- سرعة الفتح والإغلاق، بحيث يمكن أن يعمل في تطبيقات التردّدات العالية.
- لا يحدث شرارة كهربائيّة خلال عمليّتي الفتح والإغلاق، وهذا يجعله يخدم لفترة أطول.
- استهلاكه للطاقة الكهربائيّة أقل.
- سهولة التوصيل وتكلفة أقل.

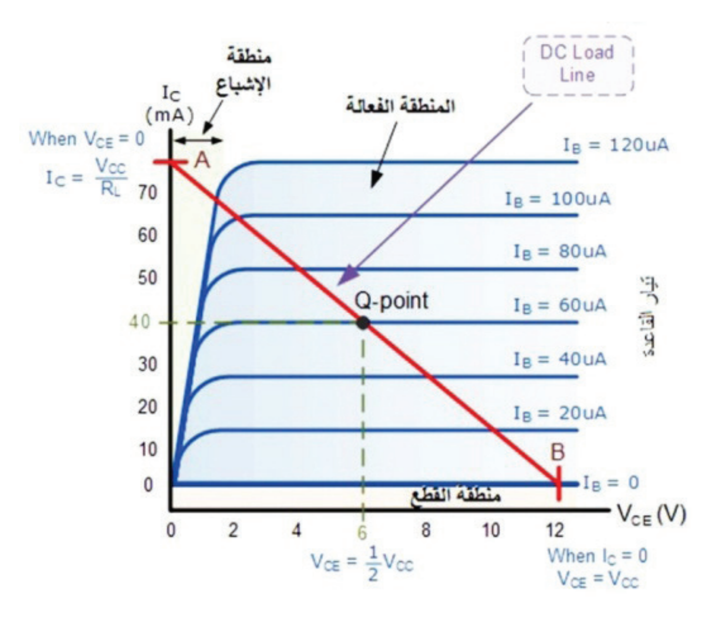
1- مناطق عمل ترانزستور (BJT)، كما في الشكل (1).

أ- منطقة الإشباع (Saturation Region): حيث يسري أكبر تيّار في الحمل.

ب- منطقة القطع (Cuttoff Region): لا يسري أيّ تيّار في الحمل.

جـ- منطقة التشغيل/ المنطقة الفعّالة (Active Region): حيث يعمل الترانزستور في هذه الحالة كمكبر إشارة.

وفي الحالتين الأولى والثانية يعمل الترانزستور كمفتاح إلكترونيّ (ON/OFF).



شكل (1): منحنيات الخرج للترانزستور ثنائيّ الوصلة

وحتى يتمّ ضبط الترانزستور للعمل كمفتاح أو كمكبر إشارة، يجب أن يتمّ اختيار قيم المقاومات بصورة صحيحة، حتى يعمل الترانزستور بالطريقة المطلوبة.

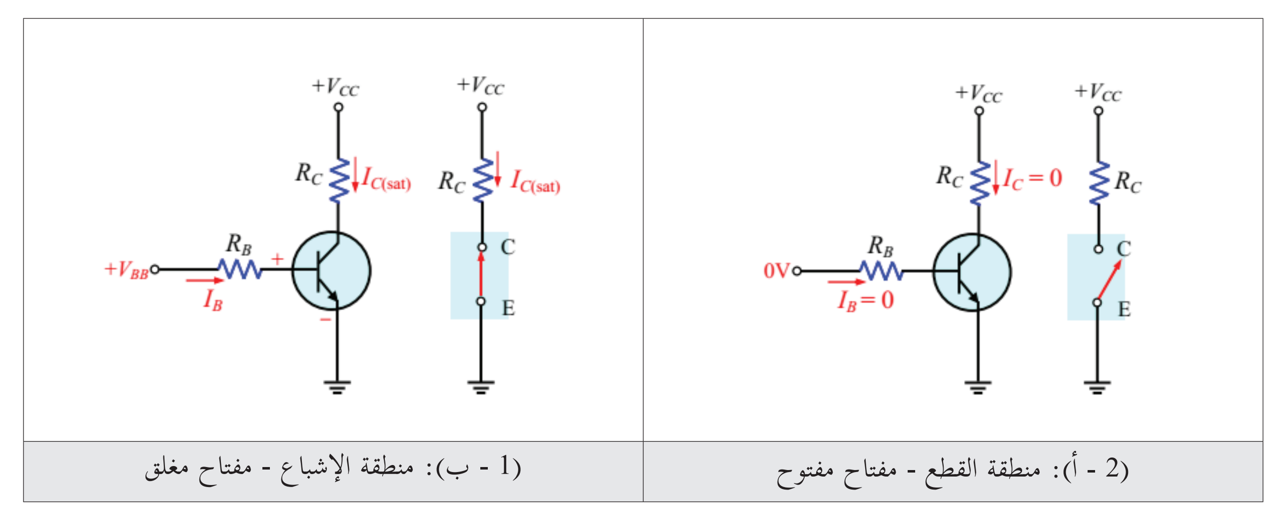
2- مبدأ عمل ترانزستور (BJT) كمفتاح إلكترونيّ:

يعمل الترانزستور كمفتاح إلكترونيّ في منطقتي القطع والإشباع، ويكون المسار ما بين المجمع والباعث في الترانزستور محل تلامسات المفتاح الميكانيكيّ.

- **حالة التوصيل (ON - State) (Saturation):** يجب تطبيق كمية كافية من تيّار القاعدة (وهنا يجب الرجوع إلى نشرة بيانات الشركة الصانعة للترانزستور لمعرفة قيمته)؛ حتى يعمل الترانزستور في منطقة الإشباع.
- **حالة الفصل (OFF - State) (Cutoff):** لا بد من تخفيض تيّار القاعدة إلى الصفر.

والشكل (2) يُبيِّن مبدأ عمل الترانزستور، فعندما يكون الجهد على القاعدة (G) يساوي صفراً ($V_{BB} = 0$) يكون التيّار في القاعدة (I_B) مساوياً للصفر، ويصبح الترانزستور بمثابة مقاومة عالية، تمنع مرور التيّار من خلالها، فتشكل دائرة مفتوحة، ويكون الترانزستور بمثابة مفتاح مفتوح، كما في الشكل (2 - أ).

أمّا عندما يكون الجهد على القاعدة (B) يساوي أو أكبر من (0.7V) ($V_{BB} \geq 0.7$) فيكون تيّار القاعدة في مرحلة الإشباع (I_{sat})، يمرّ تيّار من المجمع (C) إلى الباعث (E)، فيعمل على وصل الدائرة، وهكذا يكون الترانزستور بمثابة مفتاح مغلق، كما في الشكل (2 - ب). وبالتالي فإنّ الترانزستور يتصرف كمفتاح حسب قيمة الجهد المطبق على قاعدة الترانزستور.



(2 - أ): منطقة القطع - مفتاح مفتوح

(1 - ب): منطقة الإشباع - مفتاح مغلق

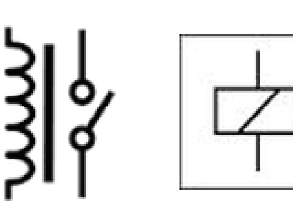
شكل (2): دائرة المفتاح الترانزستوريّ والدائرة المكافئة للمفتاح الترانزستوريّ باستخدام المفاتيح

ثانياً- المُرَحِّل/ الريلاي (Relay):

الريلاي: عبارة عن عنصر كهربائيّ يتكوّن من مفتاح ميكانيكيّ، يمكن التحكّم فيه كهربائيّاً من خلال تطبيق جهد على الملفّ الموجود بداخلها. وينتشر كثيراً في التطبيقات الصناعيّة مثلاً في دارات المنظّمات الكهربائيّة وأجهزة (PLC) ودارات المصاعد والأبواب الكهربائيّة والعديد من التطبيقات الأخرى.

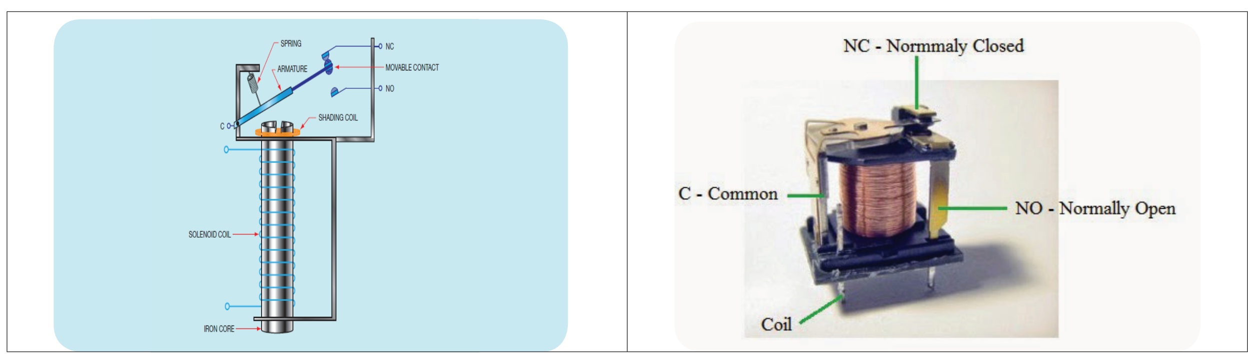
والشكل (3) يبيّن الريلاي وبعض رموزه المستخدمة فى الدوائر الكهربية.





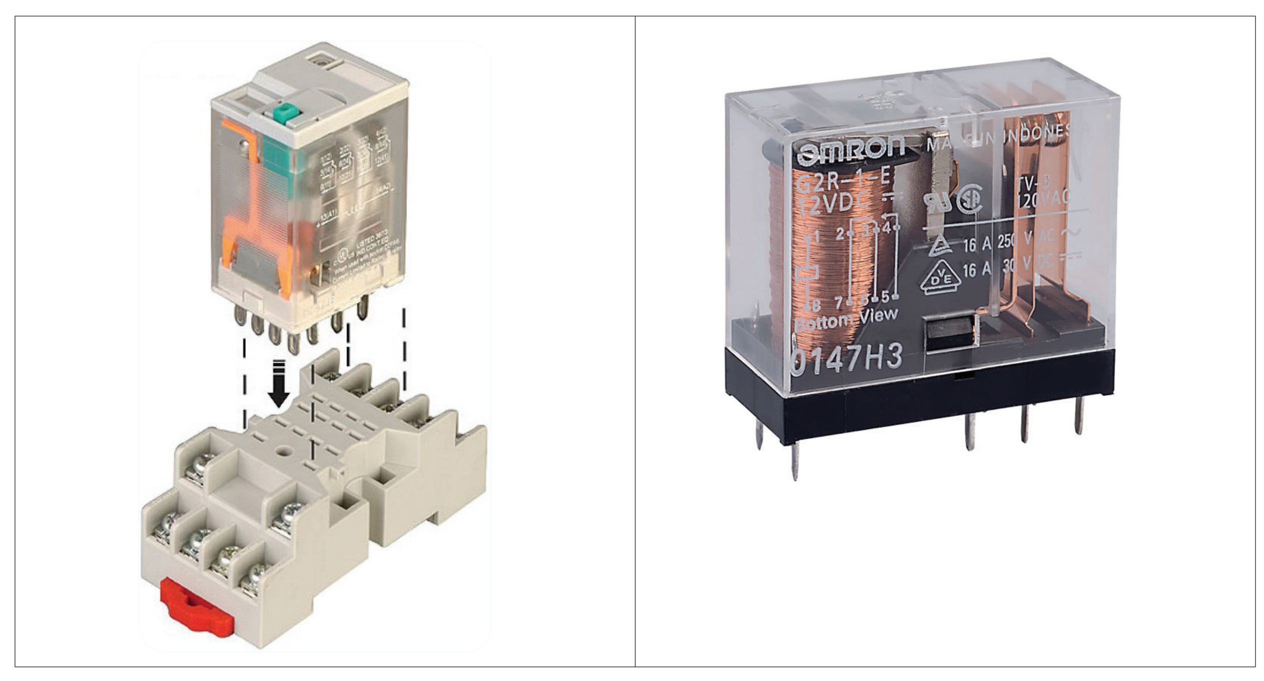
شكل (3): الريلاي وبعض رموزه

وتعتمد الريليهات في مبدأ عملها على تغذية طرفي الملفّ (Coil) بجهد مستمرّ أو متردّد؛ ممّا يجعل ملامساتها المنفصلة عن دائرة الملفّ والحرة الحركة، والمفتوحة أصلاً (Normally Open - NO) تغلق، وكذلك يجعل ملامساتها المغلقة أصلاً (Normally Closed - NC) تفتح لتشغل دائرة أخرى منفصلة عن دائرة تغذية الملفّ، ويُبيِّن الشكل (4)، مكوّنات ومبدأ عمل الريلاي (المرحل) بشكل عام .



شكل (4): مكوّنات ومبدأ عمل الريلاي

ويمكن تثبيت الريليهات على قاعدة خاصّة إذا كانت من النوع ذي القدرات عالية، أو تثبت على اللوحات المطبوعة الإلكترونيّة إذا كانت ملامساتها من دون قاعدة، ويُبيِّن الشكل (5)، النوعين الأكثر شهرة منها.



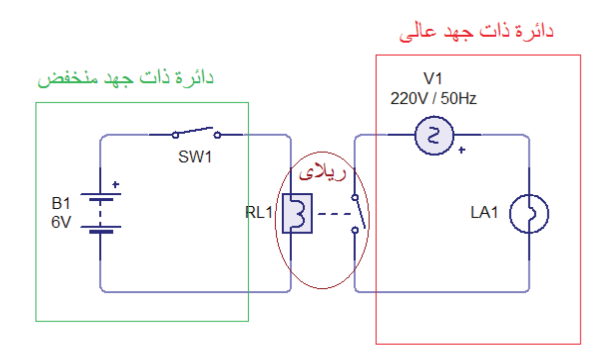
شكل (5): النوعان الأكثر شهرة من الريليهات

بالإضافة إلى أنها تتوفر بتيّارات متعددة، وهي أيضاً تتوفر بجهود تحكم (مستمرّة أو متردّدة) متعددة أيضاً، وهي جهود نظامية عالميّة تتراوح بين (DC/AC) (6V - 220V).

1- مبدأ عمل الريلاي:

إن الريلاي بالأساس يقوم بفصل أو وصل التيّار الكهربيّ لدائرة ذات جهد عالٍ عن طريق التحكّم فيه بواسطة دائرة ذات جهد منخفض، وكلا الدائرتين منفصلتان تماماً بعضهما عن بعض.

الشكل (6) دائرة بسيطة - بغرض التوضيح - تستخدم للتحكم فى إنارة مصباح.

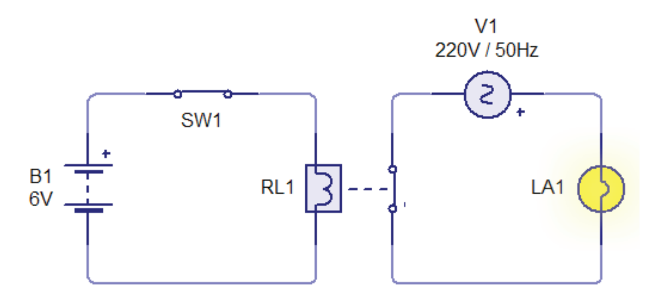


شكل (6): دائرة للتحكم فى إنارة مصباح عن طريق الريلاي

- الدائرة ذات الجهد المنخفض تتكون من بطّاريّة بجهد (6V) ومفتاح.
- الدائرة ذات الجهد المرتفع تتكون من مصدر جهد متردّد (220V)، ومصباح.

الدائرة الكهربائيّة تتكون من دائرتين، كلّ دائرة منفصلة عن الأخرى تماماً، وبينهما ريلاي وهو عبارة عن جزئين: الجزء الأول عبارة عن ملفّ ذي قلب، ويخرج من الملفّ طرفان يتصلان بالدائرة ذات الجهد المنخفض، والجزء الثاني عبارة عن نقطتي تماس غير متماستين (Normally Open - NO) أيّ في وضع مفتوح)، ومتصلتين بالدائرة ذات الجهد العالي.

عند غلق المفتاح (SW1) الموجود بالدائرة ذات الجهد المنخفض يمرّ تيّار خلال ملفّ الريلاي مكون مجال مغناطيسيّ، يعمل هذا المجال المغناطيسيّ على مغنطة القلب، فيقوم القلب بجذب نقطة تماس الريلاي المُتحرِّكة، وتسمى (Common) لتمس النقطة الأخرى الثابتة والموجودتان بالدائرة ذات الجهد العالي، فيكتمل مسار الدائرة، ويمر التيّار المتردّد إلى المصباح، كما هو موضّح بالشكل (7).



شكل (7): الدائرة بعد تشغيل الريلاي

2- أنواع نقط تماس الريلاي:

هناك أنواع مختلفة من المُرَحِّلات تصنّف حسب نقاط التلامس وعدد حوامل التماسات، فعدد حوامل التماسات يُحدّد عدد ما يُسمّى بالأقطاب (Channels) وعدد نقاط التلامس يُحدّد ما يُسمّى بالتحويلات، ويُبيِّن الشكل (8) أهم هذه الأنواع:

- **الريلاي ذو القطب الواحد والتحويلة الواحدة (SPST):** يتكوّن من ذراع واحدة (أي قطب واحد)، وتكون لهذا الذراع نقطةٌ واحدةٌ للتلامس.
- **الريلاي ذو القطب الواحد والتحويلتين (SPDT):** يتكوّن من ذراع واحدة، ولها نقطتان للتلامس، تكون مرتبة بحيث عندما يتحرك الذراع تقوم إحدى النقاط بالتوصيل، بينما تكون الأخرى في وضع الفصل.
- **الريلاي ذو القطبين والتحويلة الواحدة (DPST):** يتكوّن من ذراعين تتحركان بنفس الوقت، ولكل ذراع نقطة تلامس واحدة.
- **الريلاي ذو القطبين والتحويلتين (DPDT):** يتكوّن من ذراعين تتحركان بنفس الوقت، ولكن لكل ذراع نقطتا تلامس.

شكل (8): أهم أنواع الريليهات الَّتي تصنّف حسب نقاط التلامس وعدد حوامل التماسات

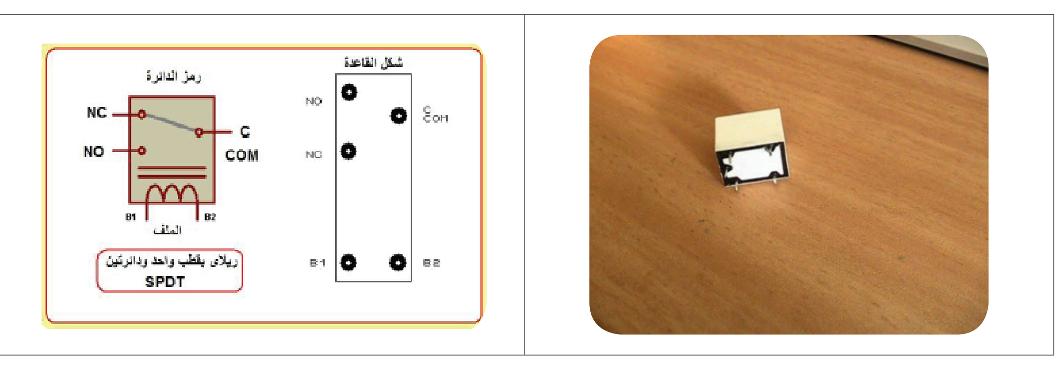
3- طريقة اختيار الريلاي:

- حجم الريلاي الفيزيائي وعدد نقاط التوصيل. (لماذا؟)
- الجهد الذي يعمل عليه ملفّ الريلاي (5،12، 24VDC) مثلاً.
- مقاومة ملفّ الريلاي (ويمكن استخدام قانون أوم لمعرفة التيّار اللازم لتفعيل ملفّ الريلاي، ويتراوح عادة ما بين (30mA - 100mA).
- مقرّرات الملامسات (قيمة الجهد والتيّار الأقصى للملامسات).
- عدد ملامسات الريلاي ونوعها.

4- فحص الريلاي:

يُعدّ الريلاي من عائلة الريليهات المغناطيسيّة الَّتي تضم بالإضافة للريلاي الكونتاكتور أيضاً، إلا أن الريلاي يستخدم بكثرة في دوائر اللوحات الإلكترونيّة المطبوعة؛ نظراً لتوفر أحجام صغيرة الحجم منه، ويمكن أن يركب على اللوحات المطبوعة، كما هو الحال في أجهزة (UPS) مثلاً، أو أجهزة (PLC)، ويحتوي الريلاي على ملفّ يعمل بجهد منخفض (5،12، 24VDC) في معظم الأحيان بالنسبة للدوائر الإلكترونيّة المطبوعة، وحتى يمرّ تيّار في الملفّ لتفعيله، لا بد أن يكون هذا التيّار كافياً للقيام بهذه المهمة، الَّتي يعتمد عليها الريلاي لإغلاق تلامساته المساعدة أو فتحها، التي تكون على نوعين (NC، NO)، إلا أنّه يتوفر منه ما يعمل ملفه على كلّ من التيّار المستمرّ أو المتردّد.

ويتم تحديد أطراف الريلاي إما بالرجوع إلى بيانات الشركة الصانعة، كما في الشكل (9)، أو بنتيجة الفحص باستخدام جهاز (DMM) بضبطه على إشارة استمرارية التوصيل بالنسبة للملامسات المساعدة، أما بالنسبة لطرفي الملفّ فيمكن تحديدهما بسهولة بقياس قيمة المقاومة على طرفي الملف.



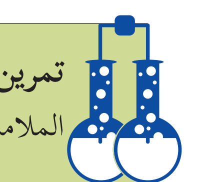
شكل (9): ريلاي ذو ملامسين (NO, NC) وقطب واحد (5 نقاط توصيل)

فمثلا هناك ملفّ ريلاي تكون قيمة مقاومته (400Ω، 200Ω) أو أكثر، ويُبيِّن الشكل (10) طريقة فحص أطراف الريلاي باستخدام جهاز (DMM)، ومقاومته تساوي تقريباً (1500Ω) في هذه الحالة، لاحظ أن قيمة جهد الملفّ تكتب عادة على جسم الريلاي (كما هو واضح في الشكل (9) مثلاً (24VDC))، وبالتالي يمكن معرفة تيّار تفعيل الملفّ اللازم بتطبيق قانون أوم لتحديد تيّار تفعيله (حيث إنَّ الجهد وقيمة المقاومة معلومة، وبالتالي يمكن حساب التيّار اللازم لتفعيل ملفه).



مقاومة الملفّ (1500Ω)	ملامسان (NC) - يوجد اتِّصال	ملامسان (NO) - لا يوجد اتِّصال

شكل (10): قياس مقاومة الملفّ - اتِّصال النقطتين (C) و (NC) - لا اتِّصال بين النقطتين (C) و (NO)



تمرين (1): اختر مجموعة من الريليهات المتوفرة في مشغلك، ثم قم بتحديد مواصفاتها، وحدِّد عدد الملامسات لكل منها، ثم افحصها للتأكُّد من صلاحيتها؟ اكتب تقريراً في دفتر التدريب العمليّ عن التمرين.

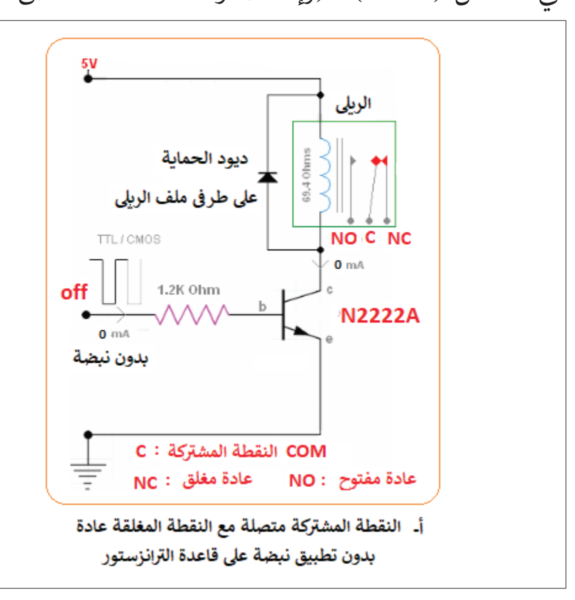
5- تطبيقات المفتاح الترانزستوري وطريقة عمل دارة المواءمة (Interfacing Circuit):

يتم التحكّم بتشغيل ملامسات الريلاي عن طريق تغذية ملفّ الريلاي بقيمة الجهد المقرّرة (المكتوبة عليه)، حيث إنَّه عندما يتمّ إعطاء طرفي الملفّ الجهد اللازم (وكذلك تيّار تفعيل الملفّ أيضاً) يعمل هذا الملفّ على تحويل ملامساته المفتوحة لتصبح مغلقة، والعكس يحدث بالنسبة للملامسات المغلقة.

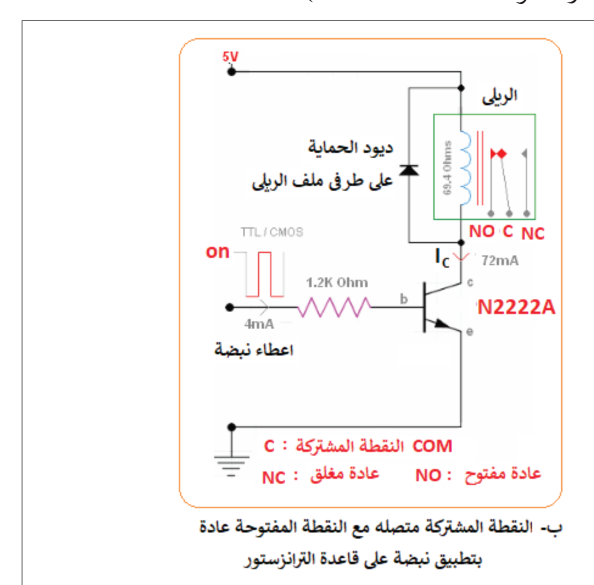
يُبيِّن الشكل (11)، دائرة المواءمة الَّتي تتكون من مصدري جهد مستمرّين. الطرف الموجب (5V) لأحدهما يتصل بطرف ملفّ الريلاي، أما الطرف الآخر لملف الريلاي فيتصل بالمجمع للترانزستور (C)، في حين يتصل الطرف السالب لهذا المصدر مع الباعث (E) للترانزستور.

أما مصدر الجهد المستمرّ الآخر فهو يعبر عنه بنبضة موجبة تطبق على قاعدة الترانزستور (B)، في حين تُعَدّ نقطة الباعث (E) نقطة مشتركة سالبة لمصدري الجهد (COM).

وعندما تطبق هذه النبضة على قاعدة الترانزستور يمرّ تيّار في المقاومة المتَّصلة مع القاعدة، ويصبح الترانزستور في حالة تشغيل (ON)، وبالتالي يمرّ تيّار تفعيل ملفّ الريلاي من المجمع باتجاه الباعث (I_C)، كما في الشكل (11 - ب)، وهذا بالنتيجة يؤدّي إلى تفعيل ملفّ الريلاي؛ مما يؤدّي إلى أن تتّصل النقطة المشتركة (C) مع النقطة المفتوحة عادة (NO)، وتشغيل الحمل المتصل عبرهما. أمّا عندما لا توجد نبضة على قاعدة الترانزستور، فإنّ الترانزستور يعمل في حالة القطع أيّ أن ملفّ الريلاي لا يعمل، وبالتالي لا يكون هناك اتِّصال بين النقطة المشتركة والنقطة الَّتي تكون عادة مفتوحة كما في الشكل (11 - أ)، (وإنّما يكون هناك اتِّصال بين النقطة المشتركة والنقطة المغلقة عادة).



أ- النقطة المشتركة متصلة مع النقطة المغلقة عادة بدون تطبيق نبضة على قاعدة الترانزستور



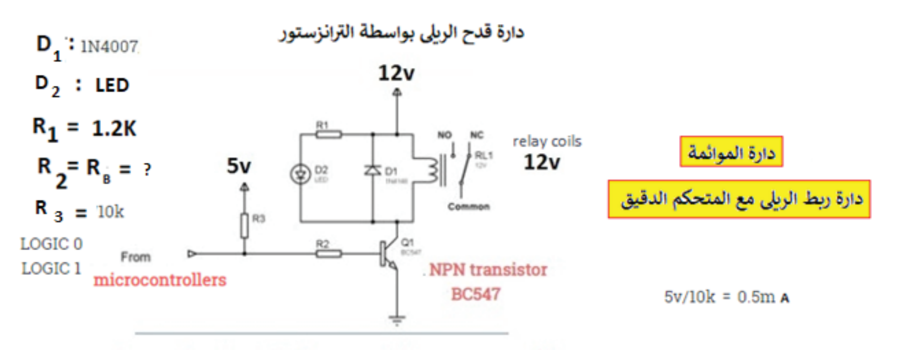
ب- النقطة المشتركة متصله مع النقطة المفتوحة عادة بتطبيق نبضة على قاعدة الترانزستور

شكل (11): دارة المفتاح الترانزستوري (دارة المواءمة)



ويتم توصيل ديود حماية على التوازي مع طرفي ملفّ الريلاي، كما في الشكل (12)، وذلك للحماية من التيّار العكسيّ الذي قد يحصل، ويُسمّى هذا الديود بـ (Protection Diode).

ويُبيِّن الشكل (12)، أحد التطبيقات المُهِمَّة الَّتي تستخدم الترانزستور لتفعيل ريلاي بواسطة نبضة جهد قيمتها (5VDC) يتمّ تغذيتها من قبل متحكم (Microcontroller) على قاعدة الترانزستور، أو حتى أيّ جهاز تحكم آخر كجهاز المتحكم المنطقيّ المبرمج (PLC)، وبالتالي يتمّ ربط أجهزة ذات قدرات عالية لتشغيلها بواسطة نبضة جهد صغيرة لا تتعدى قيمتها (5VDC).



شكل (12): استخدام دارة الموائمة على مخرج جهاز متحكم دقيق

سؤال (1): إذا علمت أن تيّار التفعيل اللازم لملف ريلاي يساوي (72mA)، وكان هذا الملفّ يعمل على جهد مقداره (5VDC)، احسب قيمة مقاومة ملفّ الريلاي.

تمرين (2): بالرجوع للشكل (11)، قم ببناء دائرة المواءمة المُبيّنة في الشكل على لوحة مثقبة، مع العلم بأن ملفّ الريلاي يعمل بجهد مستمرّ مقداره (12VDC) ويحتوي على قناة واحدة، يمكنك الحصول على جهود مستمرّة من خلال مغذّي طاقة متوفر في المشغل؟ شغِّل الدارة ولاحظ عمل ملامسات الريلاي، ثم بيِّن كيف يمكنك ربط مصباح كهربائيّ يعمل بجهد (220VAC) وتشغيله أو إطفاؤه بواسطة تطبيق جهد مقدارة (5VDC) على قاعدة الترانزستور. اكتب تقريراً عن ذلك في دفتر التدريب العمليّ.

سؤال (2): بين كيف يمكنك اختيار قيمة المقاومة المتَّصلة مع قاعدة الترانزستور (RB).

4 - 7 الموقف التعليميّ السابع: التّعرّف إلى الثايرستور، ومبدأ عمله، وفحصه، واستبداله

وصف الموقف التعليميّ التّعلّميّ:

حضر صاحب مصنع أحذيه إلى مؤسسة صيانة الآلات الصناعيّة، وطلب توصيل لمبة إشارة على لوحة إنذار، بحيث تعمل اللمبة بشكل مستمرّ، على الرغم من أنّ إشارة التشغيل صغيرة ولحظية، وأن يتمّ إطفاء لمبة الإشارة في أيّ وقت يدوياً.

العمل الكامل:

خطوات العمل	وصف الموقف الصّفّيّ	المنهجيّة (إستراتيجيّة التّعلّم)	الموارد حسب الموقف الصّفّيّ
أجمع البيانات، وأحلّلها	• أجمع البيانات من صاحب مصنع الاحذية عن - طبيعة اللَّوحة، وجهد تشغيلها - نوع تشغيل لمبة الإشارة، وقدرتها، وجهدها. • أجمع البيانات عن: - الثايرستورات، وأنواعها المختلفة. - مبدأ عمل الثايرستور، وطريقة توصيله. - مواصفات الثايرستور، واستخداماته. - طريقة تشغيل الثايرستور كمفتاح إلكترونيّ.	• البحث العلميّ. • الحوار والمناقشة.	• قرطاسيّة. وأقلام. • وثائق (كتالوجات). • الشبكة العنكبوتية.
أخطّط، وأقرّر	• أصنف البيانات وتبويبها. • أحدد الأدوات والعِدَد والأجهزة اللازمة للعمل. • رسم المُخَطّط اللازم لبناء الدارة المناسبة من خلال البيانات الّتي وردت سابقاً. • إعداد جدول زمنيّ للتنفيذ.	• الحوار والمناقشة. • العمل التعاونيّ. • البحث العلميّ.	• قرطاسيّة. • وثائق. • نموذج الجدول الزمنيّ. • برامج رسم الدارات.
أنفّذ	• استخدام أدوات السلامة المهنيّة وفقاً للمعايير الفنيَّة وأنظمة السلامة ذات الصلة. • استخدام العِدَد والأدوات المناسبة لعمليّة الفكّ والتركيب والتثبيت. • فحص اللَّوحة المطلوبة للعمل عليها. • تحديد نوع الثايرستور، والدارة المناسبة لبناء المفتاح. • اختيار الدارة الّتي تناسب المهمة المطلوبة، والقيام ببنائها.	• الحوار.	• صندوق العِدّة. • القطع اللازمة لعمليّة التركيب والتشغيل والصيانة. • أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة. • أدوات لحام العناصر الإلكترونيّة وفكّها. • قرطاسيّة.
أتحقّق	• التّحقّق من صلاحِيَة الدارة الّتي قمت ببنائها. • التّحقّق من عمل الدارة لتعطي الوظيفة المطلوبة. • التّحقّق من جودة العمل.	• التّعلّم التعاونيّ. • الحوار والمناقشة.	• وثائق (كتالوجات). • القرطاسيّة. • أجهزة القياس والفحص الإلكترونيّة.

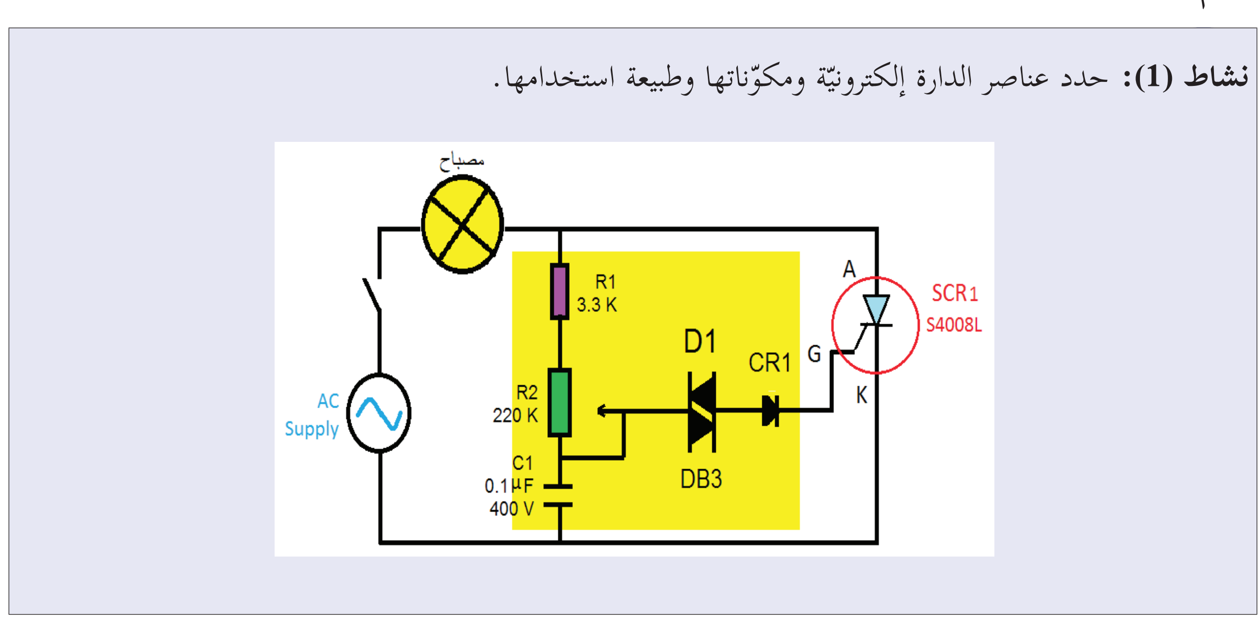
أوثّق، وأعرض	• إنشاء قوائم خاصّة بالعِدَد اليدويّة ووسائل القياس المستخدمة. • تحديد جدول زمنيّ للتسليم. • تسليم قوائم العمل لمسؤول الصيانة. • فتح ملفّ بالحالة.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• جهاز حاسوب. • جهاز عرض. • قرطاسيّة.
أقيّم	• رضا صاحب مصنع الأحذية بما يتفق مع طلبه. • المطابقة مع المواصفات والمعايير.	• الحوار والمناقشة. • البحث العلميّ.	• نماذج التقويم. • طلب الزبون.

الأسئلة:

1. ما المواصفات الفنِّيَّة الَّتي يجب مراعاتها عند استبدال ثايرستور تالف؟
2. بيِّن كيف يعمل الدياك، وأين يستخدم؟

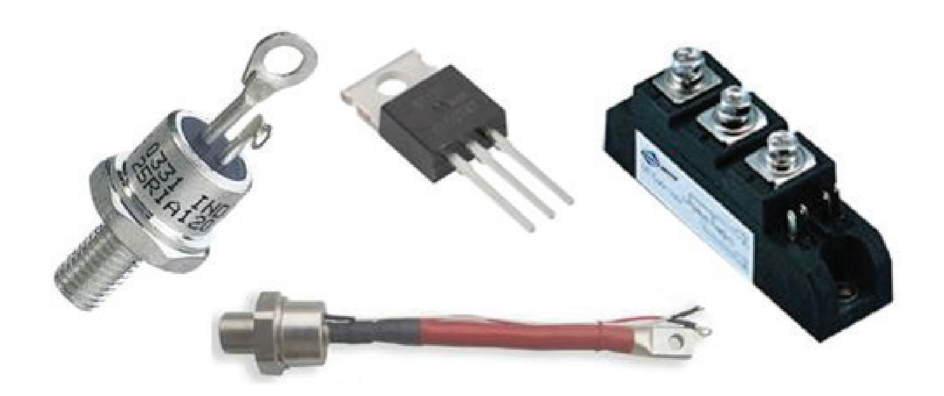
أتعلّم:

نشاط (1): حدد عناصر الدارة إلكترونيّة ومكوّناتها وطبيعة استخدامها.



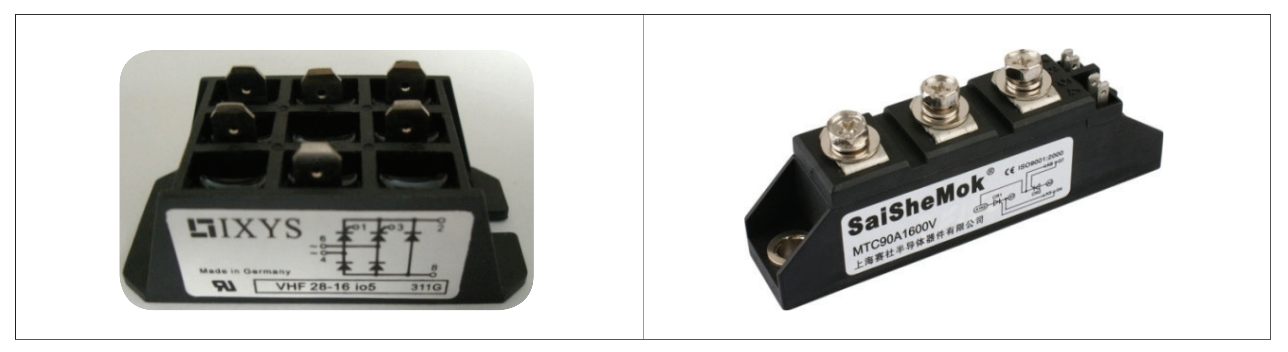
أولاً- المقوّم السليكوني المحكوم /الثايرستور (Thyristor Silicon Controlled Rectifier - SCR):

يعد المقوّم السليكوني المحكوم (SCR) من أهم عناصر القدرة، وتعود أهمِّيَّته؛ لكونه يتحمل مرور تيّارات عالية؛ مما يساعد على انتشار تطبيقاته، ويكافئ مفتاحاً ثلاثيّ الأطراف أحاديّ الاتجاه (المصعد والمهبط والبوّابة) يُمرّر التيّار الكهربائيّ في اتجاه واحد فقط من المصعد إلى المهبط، حيث يتمّ التحكّم بتشغيله بواسطة البوّابة، وكونه من أهم عناصر العائلة أصبح يشار إليه باسم العائلة (ثايرستور)، بحيث عندما يقال ثايرستور يكون المقصود المقوّم السليكوني المحكوم بالبوّابة. ويظهر الشكل (1) مجموعة من أشكال المقوّم السليكوني المحكوم متنوعة القدرة.



شكل (1): أشكال المقوّم السيلكوني المحكوم

وبعض الشركات تقوم بتصنيع مجموعة من الثايرستورات مكونة من اثنين أو أربعة أو ستة بعضها مع بعض، كما تظهر في الشكل (2)، وتقوم أيضاً بتوضيح أطراف الثايرستور بوضع مخطّط التوصيل على جسم ثايرستور القدرة.



شكل (2): بعض أشكال مجموعة من الثايرستورات في قطعه واحدة (تسمى قنطرة محكومة)

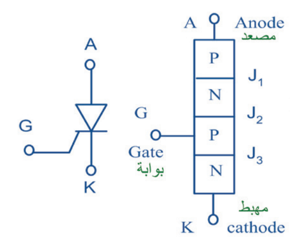
1- تركيب ورمز الثايرستور:

وهو يتركّب من أربع شرائح شبه موصلة (PNPN)، وله ثلاثة أطراف، كما في الشكل (3).

أ- المصعد Anode (A)

ب- المهبط Cathode (K)

جـ- البوّابة Gate (G)



شكل (3): تركيب الثايرستور ورمزه

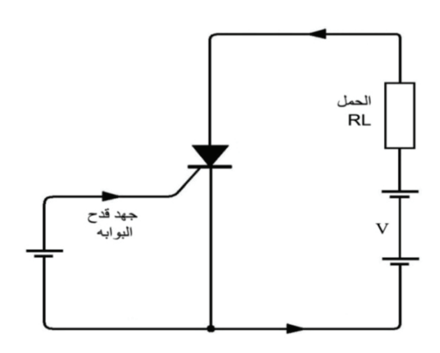
2- مبدأ عمل الثايرستور:

- الثايرستور يشبه في عمله الديود، لكن له طرف ثالث يستخدم للتحكم بتوصيل التيّار يُسمّى البوّابة (G).
- يُمرّر التيّار الكهربائيّ في اتجاه واحد فقط من المصعد (A) إلى المهبط (K)، كما في الشكل (4).
- يوصل المصعد (A) بجهد موجب، والمهبط (K) بجهد سالب، والبوّابة (G) بجهد موجب، ويعمل في الدارات الإلكترونيّة كمفتاح إلكترونيّ له حالتان:

أ- حالة القطع (OFF): قبل تسليط جهد على طرف البوّابة (G) يكون في حالة القطع (OFF)، ولا يسمح بمرور التيّار.

ب- حالة التوصيل (ON): عند تسليط جهد موجب على طرف البوّابة (G) (0.5V - 12V) سيتحوّل الثايرستور إلى حالة التوصيل (ON)، ولن يمرّ التيّار إلا بعد أن تكون قيمة التيّار تساوي تيّار الإمساك (I_L)، ويبقى الثايرستور في حالة عمل، حتى لو تمّ فصل جهد التحكّم عن البوّابة (G) أو قطع تيّار البوّابة، والطريقة الوحيدة لنقل الثايرستور إلى حالة قطع (OFF) هي قطع التيّار المارّ بين المصعد (A) والمهبط (K)، أو بعكس قطبيّة الجهود على المصعد (A) والمهبط (K)، وبذلك يكون التيّار قد قل عن قيمة تيّار الاستمرار بالتوصيل (I_H).

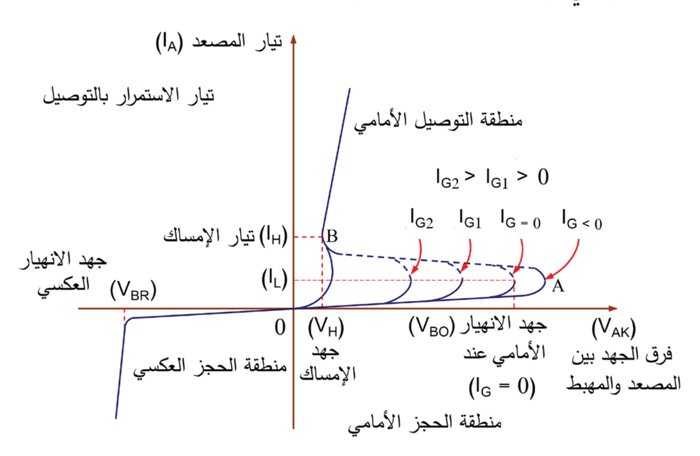
- تتحدّد حالة الثايرستور من ناحية انتقاله إلى حالة توصيل التيّار، أو عدم توصيل التيّار حسب الجهود الكهربائيّة المطبقة على أطرافه والتيّارات المارة خلاله.



شكل (4): طريقة توصيل الثايروستور

3- منحنى خصائص ومناطق عمل الثايرستور:

يُبيِّن الشكل (5) منحنى الخصائص للثايرستور، الذي يمكن من خلاله التعرف على مناطق عمل الثايرستور. ويلاحظ من هذا المنحنى أن الثايرستور يعمل في إحدى مناطق العمل الآتية:



شكل (5): منحنى الخصائص للثايرستور

أ- منطقة الحجز الأماميّ:

- يعمل الثايرستور فيها كمفتاح في حالة القطع (OFF)، حيث يكون الثايرستور منحازاً أمامياً.
- يكون المصعد (A) موصولاً بالقطب الموجب، والمهبط (K) بالقطب السالب.
- يكون جهد المصعد (A) موجباً بالنسبة إلى المهبط (K) (تكون قيمة جهد الانحياز الأماميّ)، وبقيمة أقل من جهد يُسمّى جهد الانهيار الأماميّ (V_{BO}).
- دائرة البوّابة مفتوحة، ولا يمرّ تيّار في دائرة البوّابة (يكون تيّار البوّابة مساوياً صفراً).
- يمر تيّار صغير جدّاً يُسمّى تيّار التسرب الأماميّ يمكن إهماله لصغره.

ب- منطقة الحجز العكسيّ:

- يعمل الثايرستور فيها كمفتاح في حالة القطع (OFF)، حيث يكون الثايرستور منحازاً انحيازاً عكسيّاً.
- يكون المصعد (A) متَّصلاً بالقطب السالب، والمهبط (K) متَّصلاً بالقطب الموجب.
- يكون جهد المصعد (A) سالباً بالنسبة إلى المهبط (K)، وبقيمة أقل من جهد يُسمّى جهد الانهيار العكسيّ (V_{BR}).
- يمر تيّار صغير جدّاً يُسمّى تيّار التسرب العكسيّ يمكن إهماله لصغره.
- إذا زاد جهد الانحياز العكسيّ عن جهد الانهيار العكسيّ (V_{BR}) فإنّ ذلك يؤدّي عادة إلى تلف الثايرستور.

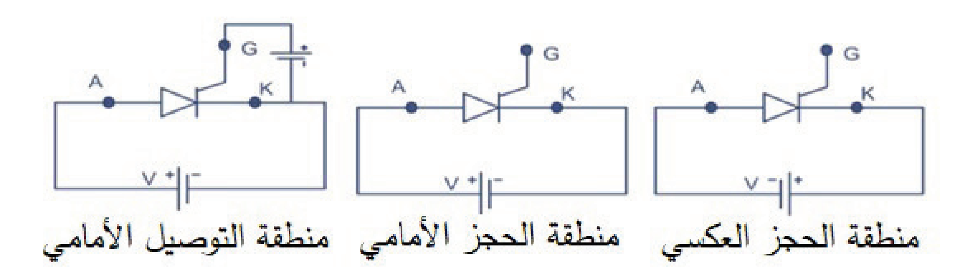
ج- منطقة التوصيل الأماميّ:

- يعمل الثايرستور فيها كمفتاح في حالة التوصيل (ON)، ويمر التيّار فيه من المصعد (A) إلى المهبط (K)، وبقيمة تعتمد على مقاومة الحمل فقط.

- أكثر الطرق العمليّة شيوعاً واستخداماً لتحويل الثايرستور من حالة الحجز الأماميّة إلى حالة التوصيل الأماميّ، بتغذية البوّابة (G) بتيّار مستمرّ، أو بنبضة قدح قصيرة تجعل قطبيّة البوّابة موجبة بالنسبة للمهبط (K).
- يكون الجهد (في حالة التوصيل) على طرفي الثايرستور بين (1.5 - 3V)، (فمثلاً $V_{TM} = 1.7V$) للثايرستور رقم (TIC106D) .

ملاحظة: لاحظ من الشكل (5) أنه كلما زاد تيّار البوّابة يقل جهد الحجز الأماميّ للثايرستور.

ويوضّح الشكل (6) مناطق عمل (خصائص تشغيل) الثايرستور.



شكل (6): مناطق عمل الثايرستور

- بمجرد أن يصبح الثايرستور في حالة التوصيل الأماميّ، تفقد البوّابة (G) قدرة التحكّم به، ويستمر بالتوصيل طالما استمر المصعد (A) موجباً بالنسبة للمهبط (K).
- يتمّ تحويل الثايرستور من حالة التوصيل إلى حالة القطع بإحدى الطرق الآتية:
  1- قطع تيّار المصدر، بتوصيل مفتاح على التوالي مع الثايروستور.
  2- تخفيض تيّار المصعد (A) إلى ما دون قيمة تيار الامساك، بتوصيل مفتاح على التوازي مع الثايروستور.
  3- عكس القطبيّة بين المصعد (A) والمهبط (K)، وذلك يحدث تلقائياً في دارات التيّار المتناوب.

4- المواصفات الفنيّة للثايرستور:

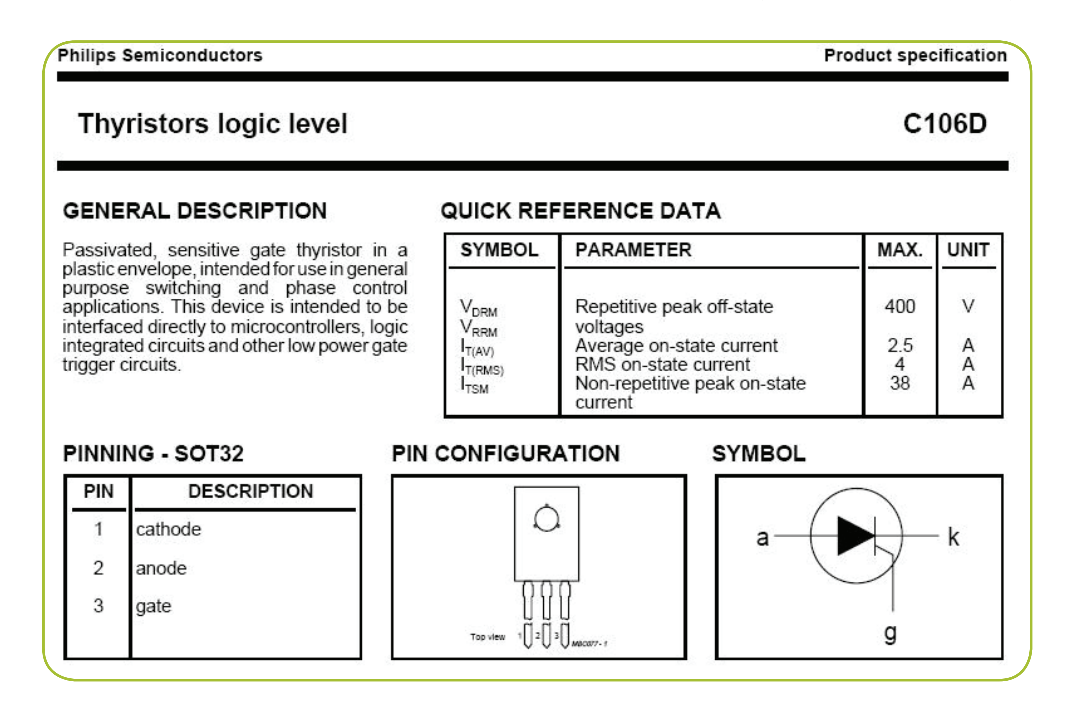
من أهم الأمور الّتي يجب مراعاتها عند استخدام ثايرستور، أو استبداله ما يأتي:

- **القيمة المتوسّطة للتيّار الأماميّ:** وهي قيمة تحمل الثايرستور للتيّار المستمرّ في حالة التوصيل.
- **قيمة جهد الانهيار العكسيّ (V_{BR}):** وهي قيمة الجهد العظمى الّتي يتحمّلها الثايرستور أثناء عمله في منطقة الانحياز العكسيّ، دون أن يؤدّي تطبيقها إلى الانهيار العكسيّ.
- **قيمة جهد الانهيار الأماميّ (V_{BO}):** قيمة الجهد الّتي يتحمّلها الثايرستور أثناء عمله في منطقة الحجز الأماميّة، دون أن يؤدّي تطبيقها إلى انتقال الثايرستور للعمل في منطقة التوصيل الأماميّ، بافتراض أنّ تيّار البوّابة يساوي صفراً، حيث تتناسب قيمة جهد الانهيار الأماميّ عكسيّاً مع قيمة تيّار البوّابة.

- **تيّار الإمساك - البدء بالتوصيل (I_L):** وهي قيمة التيّار الأماميّ الَّتي يجب أن يمرّ في الثايرستور، بحيث يحافظ على عمله في منطقة التوصيل الأماميّ. ويعبّر عن قيمة تيّار المصعد الذي يحول عنده الثايرستور من منطقة الحجز الأماميّ إلى منطقة التوصيل الأماميّ، وقيمته تتناسب عكسيّاً مع تيّار البوّابة.
- **تيّار الاستمرار بالتوصيل (I_H):** ويعبّر عن قيمة تيّار المصعد الَّتي يتحوّل عندها الثايرستور من منطقة التوصيل الأماميّ إلى منطقة الحجز الأماميّ.
- **تيّار القدح (I_{GT}):** ويعبّر عن قيمة تيّار البوّابة اللازم لقدح الثايرستور من منطقة الحجز الأماميّ إلى منطقة التوصيل الأماميّ.

5- نشرة البيانات للثايرستور (Data Sheet):

يتم إدراج المواصفات الفنِّيَّة الكاملة لكل ثايرستور في نشرة البيانات الخاصّة به. تعطي نشرة البيانات المعلومات الكهربائيّة والميكانيكيّة الكاملة عن العنصر الإلكترونيّ موضوع النشرة. فهي تبين القيم المقرّرة والقصوى للتيّارات والجهود الكهربائيّة، وكذلك الأبعاد الميكانيكيّة للعنصر، بالإضافة إلى شكل العنصر، وتحديد أطراف التوصيل للعنصر. يُبيِّن الشكل (7)، مقطعاً من نشرة البيانات الخاصّة بالثايرستور (C106D). ويمكن الحصول على نشرة البيانات لأي عنصر إلكترونيّ بإدراج اسم العنصر في محرّك البحث Google على شبكة الإنترنت.



Philips Semiconductors — Product specification

Thyristors logic level — C106D

GENERAL DESCRIPTION

Passivated, sensitive gate thyristor in a plastic envelope, intended for use in general purpose switching and phase control applications. This device is intended to be interfaced directly to microcontrollers, logic integrated circuits and other low power gate trigger circuits.

QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	UNIT
V_{DRM} V_{RRM}	Repetitive peak off-state voltages	400	V
$I_{T(AV)}$	Average on-state current	2.5	A
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	4	A
I_{TSM}	Non-repetitive peak on-state current	38	A

PINNING - SOT32

PIN	DESCRIPTION
1	cathode
2	anode
3	gate

PIN CONFIGURATION

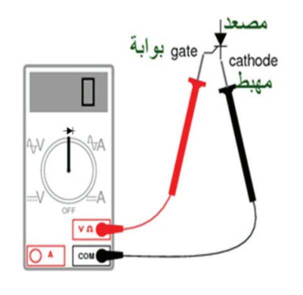
SYMBOL

شكل (7): نشرة بيانات الثايرستور (C106D)

نشاط (2): حاول تفسير البيانات الواردة في نشرة بيانات الثايرستور (C106D).

6- فحص الثايرستور:

أ- تحديد أطراف الثايرستور:



شكل (8): فحص الثايرستور

يمكن تحديد أطراف الثايرستور بواسطة جهاز (DMM)، وذلك بوضع الجهاز على فحص الديود، ثم توصيل أطراف الجهاز بين كلّ طرفين من أطراف الثايرستور، كما في الشكل (8)، ثم نقوم بتبديل توصيل أطراف الثايرستور إلى أن نحصل على قراءة منخفضة، فيكون طرف الجهاز الموجب موصولاً مع البوّابة (G)، والطرف السالب موصولاً مع المهبط (K)، أما الطرف المتبقي فهو المصعد (A).

هذه الطريقة العامّة لا تنطبق على جميع الأنواع، حيث تكون وصلة بوّابة المهبط (K/G) في بعضها صغيرة جدّاً؛ مما يجعل المقاومة قليلة في الاتجاهين، وبالتالي يصعب تحديد الأطراف إلا باستخدام كتب المكافئات. أو أجهزة خاصّة بفحص الثايرستور.

ملاحظة: عند تلف الثايرستور يتحوّل إلى:

- دارة قصر، حيث يُمرّر التيّار في الاتجاهين.
- دارة مفتوحة، حيث لا يُمرّر التيّار في أيّ اتجاه.

ب- طرق فحص الثايرستور:

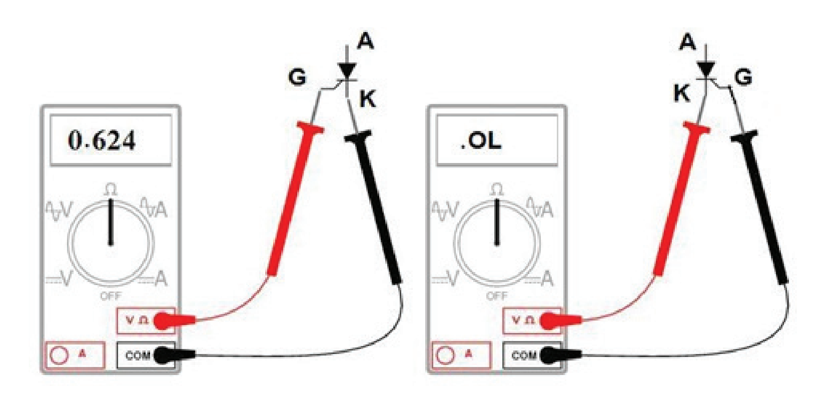
تتنوّع الثايرستورات من حيث مقرّرات الجهد والتيّار الخاصّة بها؛ مما يفرض تغيّرات بسيطة في التركيب العام للثايرستور. وهذا يؤدّي إلى بعض الاختلاف في القراءات الّتي يتمّ الحصول عليها عند فحص العنصر. ومن الواجب تحديد أطراف الثايرستور قبل البدء بعمليّة فحص الثايرستور باستخدام نشرة البيانات أو كتب البدائل. وفيما يأتي الطرق المستخدمة في فحص الثايرستور:

- **الفحص باستخدام جهاز متعدِّد القياسات (DMM):** حيث يتمّ وضع الجهاز على تدريج المقاومة، ومن ثم:

• **في حالة الثايرستورات الحسّاسة ذات التيّار القليل:**

» وصل طرف جهاز القياس الأسود (-) على البوّابة (G)، والطرف الأحمر (+) على المهبط (K)، وقراءة الجهاز (مقاومة مرتفعة O.L).

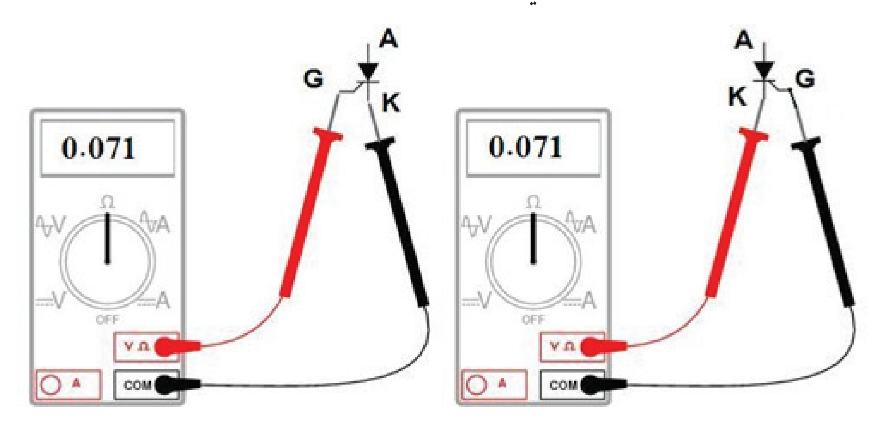
» وصل طرف جهاز القياس الأسود (-) على المهبط (K)، والطرف الأحمر (+) على البوّابة (G)، وقراءة الجهاز (مقاومة صغيرة 0.624)، كما في الشكل (9).



شكل (9): فحص الثايرستورات الحسّاسة ذات التيّار القليل

- **في حالة الثايرستورات ذات القدرات المتوسّطة والعالية:**

» أخذ القراءات بين البوّابة (G) والمهبط (K)، نحصل على قراءة قليلة ومتساوية بالاتجاهين (0.071) نظراً لوجود مقاومة داخلية بين البوّابة والمهبط، كما في الشكل (10).



شكل (10): فحص الثايرستورات ذات القدرات المتوسّطة والعالية

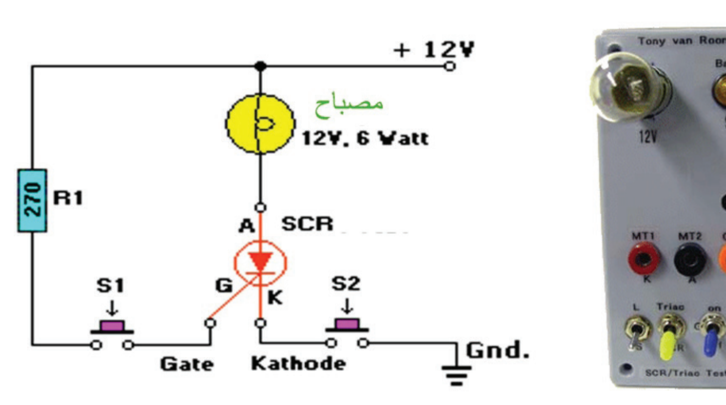
» أخذ القراءات بين البوّابة (G) والمصعد (A) بالاتجاهين، حيث يعطي الثايرستور السليم مقاومة عالية جدّاً (O.L) بالاتجاهين.

» أخذ القراءات بين المصعد (A) والمهبط (K) بالاتجاهين، حيث يعطي الثايرستور السليم مقاومة عالية جدّاً (O.L) بالاتجاهين.

من المهم الانتباه إلى أن الحصول على قراءات تدلّ على عدم وجود خلل في الثايرستور باستعمال جهاز متعدد القراءات كما تمَّ شرحه أعلاه، لا يعني أن الثايرستور هو سليم فعلاً عند تشغيله في الدائرة الكهربائيّة. حيث إنَّ الفحوصات أعلاه لا تكشف وجود حالة قطع في دائرة المصعد - المهبط؛ لذلك ومن أجل التأكد من سلامة الثايرستور بعد اجتيازه الفحوصات أعلاه يمكننا استخدام الفحص الآتي.

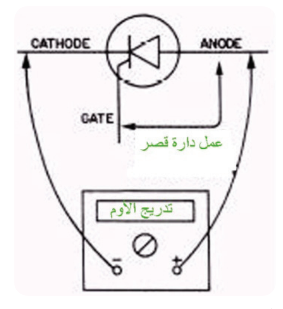
- الفحص بواسطة دائرة الفحص:

يتم توصيل الثايرستور في دائرة الفحص، ويتمّ تشغيل المفتاح (S2)، حيث يجب أن لا يضيء المصباح. أمّا عند الضغط اللحظي على الضاغط (S1) فإنّ المصباح يضيء، ويبقى المصباح مضيئاً حتى بعد رفع الضغط عن الضاغط (S1). في هذه الحالة فإنّه يمكن الحكم على أن الثايرستور سليم. يمكن إطفاء المصباح عن طريق فصل المفتاح (S2)، كما في الشكل (11).



شكل (11): دارة فحص الثايرستور

هناك طريقة سريعة لفحص الثايرستور بواسطة جهاز (DMM)، كما في الشكل (12).

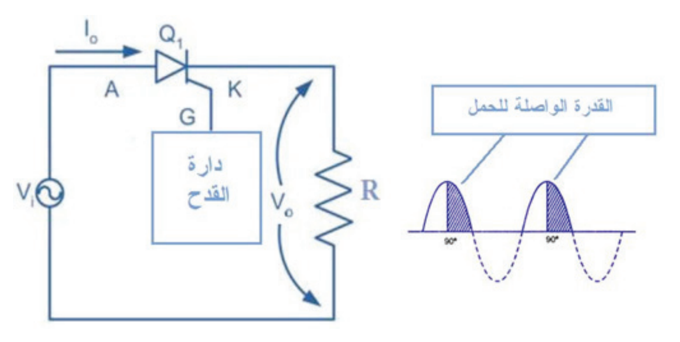
- وضع تدريج الأوم. - عمل وصلة (تماسّ) دارة قصر بين المصعد والبوّابة. - وصل الموجب مع المصعد والسالب مع المهبط. - إذا كان سليماً يعطي قراءة صغيرة .	 شكل (12): فحص الثايرستور

نشاط (3): اختر عدداً من الثايرستورات المختلفة، واستخدم الدارة السابقة في فحص كلّ منها.

7- تشغيل الثايرستور وتوصيله:

مما سبق يتضح لنا أنه ومن أجل تشغيل الثايرستور، فإنّ المصعد (A) يجب أن يكون ضمن الدائرة المتّصلة مع الطرف الموجب للمصدر، المهبط (K) ضمن الدائرة المتّصلة مع الطرف السالب للمصدر، وعند ذلك يتمّ تطبيق نبضة موجبة بالنسبة للمهبط (K) وذات تيّار مناسب على البوّابة (G)، عندها يتحوّل الثايرستور إلى حالة التوصيل، حيث يمرّ التيّار من المصعد (A) إلى المهبط (K).

ومن أشهر تطبيقات الثايرستور في التحكّم بالقدرة الكهربائيّة الواصلة للحمل هو التحكّم بزاوية القدح، حيث يتمّ إبقاء الثايرستور في حالة القطع في جزء من موجة المصدر، ومن ثم قدح الثايرستور بواسطة دارة التحكّم، ونقله إلى حالة التوصيل في الجزء الباقي من موجة المصدر. ويكون الجهد المطبق على الحمل خلال هذه الفترة هو فرق جهد المصدر (مطروحاً منه هبوط الجهد على طرفي الثايرستور)، كما في الشكل (13).



شكل (13): التحكّم بالقدرة بواسطة الثايرستور

ثانياً - الدياك (Diac):

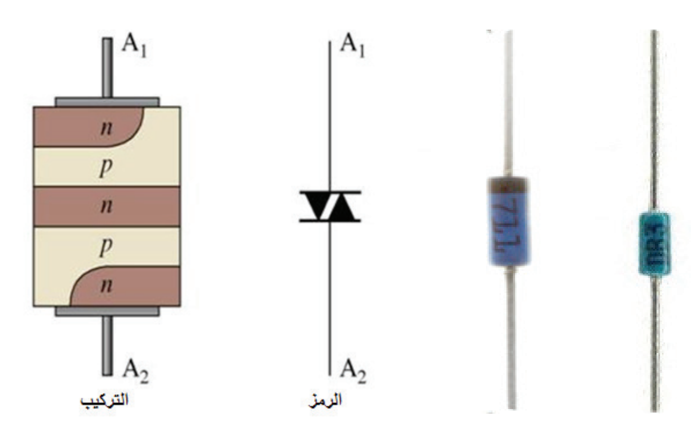
1- الخصائص ومبدأ العمل:

- عنصر إلكترونيّ من عائلة الثايرستور، ويُسمّى أحياناً بالموحد ثنائيّ الاتجاه، يمكن أن يتحوّل إلى حالة التوصيل (ON) في كلّ من نصفي الموجة الموجب والسالب لموجة جهد المصدر المتردّد.
- يعمل من دون بوّابة تحكم.
- ليس له قطبيّة عند توصيله في الدارات الإلكترونيّة، حيث يمكن توصيله بأي اتجاه.
- يعمل الدياك على جهود منخفضة في حدود (50V).
- يسمح بمرور التيّار في اتجاهين متعاكسين.
- يستخدم الدياك كمذبذب من أجل قدح الترياك والثايرستور.

2- تركيب الدياك وأطرافه:

- يتركّب من خمس طبقات من مادة شبه موصلة.
- له طرفان متماثلان هما:
  أ- المصعد الأول (A1).
  ب- المصعد الثاني (A2).

يكافئ ديودين شوتكيين اثنين موصولين على التوازي وبشكل عكسيّ، كما يظهر في الشكل (14).



شكل (14): رمز الدياك والشكل والدارة المكافئة

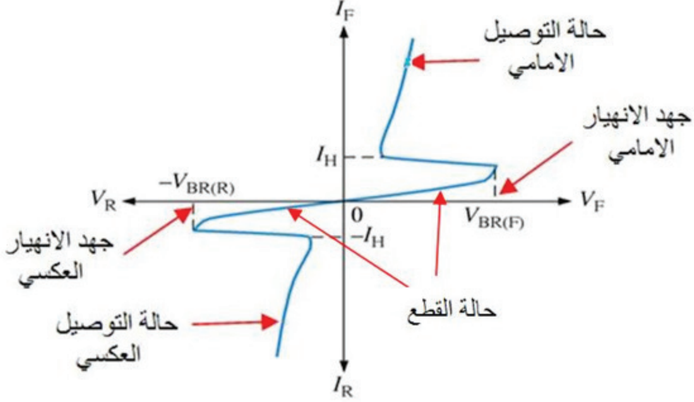
يُبيِّن الشكل (15) منحنى الخصائص للدياك، من هذا المنحنى يمكن تلخيص طريقة تشغيل الدياك كما يلي:

- للدياك جهدا انهيار، الأول جهد انهيار في الاتجاه الأماميّ (موجب)، والآخر جهد انهيار في الاتجاه العكسيّ (سالب).
- يكون الدياك في حالة الفصل، أيّ لا يُمرّر أيّ تيّار، طالما كان الجهد على طرفيه (A1 و A2) أقل من جهد الانهيار الأماميّ أو العكسيّ (V_{BR}).
- إذا زاد الجهد على طرفيه عن جهد الانهيار الأماميّ ($V_{BR\ (F)}$) أو العكسيّ ($V_{BR\ (R)}$)، فإنّه يتحوّل إلى حالة التوصيل، ويبقى في حالة التوصيل؛ حتى يقل التيّار المارّ فيه عن تيّار الاستمرار بالتوصيل (I_H).

» من (A1) إلى (A2) عندما يكون جهد (A1) أعلى من جهد (A2) بقيمة مساوية على الأقل قيمة جهد الانهيار.

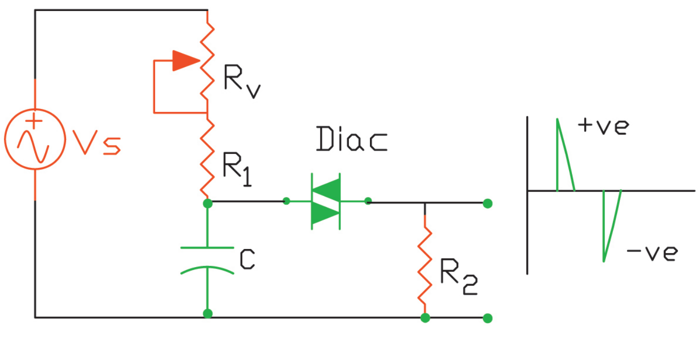
» من (A2) إلى (A1) عندما يكون جهد (A2) أعلى من جهد (A1) بقيمة مساوية على الأقل قيمة جهد الانهيار.

ويتراوح جهد الانهيار للدياك من (28V - 36V). وفي العادة يكون جهدا الانهيار متماثلين في حدود (1V) إلا إذا تمَّ تصنيعه عمداً ليوفر جهدي انهيار مختلفين، وبما أن الدياك يمكنه إعطاء نبضة سالبة أو موجبة، فإنّه يستخدم عادة في قدح الترياك.



شكل (15): منحنى الخصائص للدياك

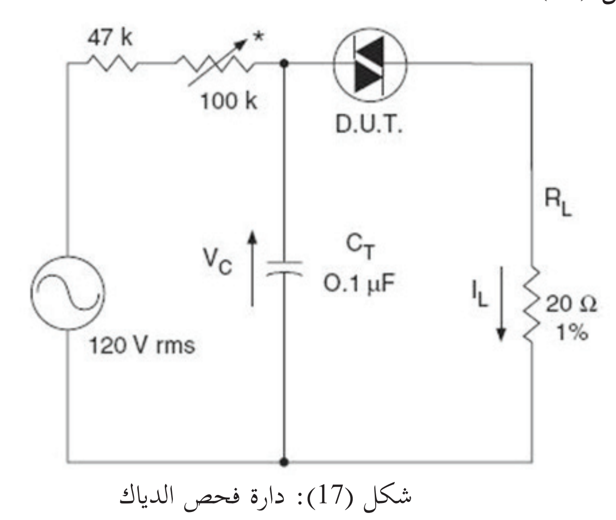
ويُبيِّن الشكل (16)، مذبذباً يستخدم الدياك، في النصف الموجب لمصدر التغذية يبدأ المكثّف بالشحن بقطبيّة موجبة حتى يصل فرق الجهد عليه إلى جهد الانهيار الأماميّ الموجب للدياك، فيفرغ شحنته خلال الدياك والمقاومة (R3) على شكل نبضة موجبة، وفي النصف السالب يشحن المكثّف، ولكن بقطبيّة معاكسة حتى يصل فرق الجهد عليه إلى جهد الانهيار الأماميّ السالب للدياك والمقاومة (R3) على شكل نبضة سالبة، وتستخدم النبضة الموجبة والسالبة لقدح الترياك .



شكل (16): مذبذب يستخدم الدياك

3- فحص الدياك:

لا يمكن استخدام جهاز الملتميتر لفحص الدياك، حيث إن استعمال جهاز الملتميتر لفحص الدياك سوف يعطي قراءة عالية في الاتجاهين سواء على تدريج الديود أو المقاومة وذلك للدياك السليم؛ والسبب أن الدياك لا يتحوّل إلى حالة التوصيل إلا إذا توافر فرق جهد في حدود (30V) تقريباً. وهذا الجهد لا يتوفر في جهاز الملتميتر العاديّ الذي يعمل على البطّاريّات. ولفحص الدياك يلزم في العادة استخدام جهاز (Curve Tracer)، أو بناء دارة تعتمد على تشغيل الدياك كمذبذب، كما في الشكل (17).



شكل (17): دارة فحص الدياك

نشاط (4): أكمل الجدول الآتي:						
اسم العنصر	نوع العنصر	الرمز	التركيب	مبدأ العمل	فحص العنصر	التطبيقات
الدياك						

4 - 8 الموقف التعليميّ الثامن: بناء دارات التحكّم بالقدرة الواصلة لحمل كهربائيّ

وصف الموقف التعليميّ:

حضر صاحب مصنع منظفات كيميائية إلى مؤسسة صيانة الآلات الصناعيّة، وطلب بناء دارة إلكترونيّة للتحكم بسرعة محرّك تيّار متناوب أحاديّ الطور يعمل بجهد (220V)، وتوصيلها وتشغيلها.

العمل الكامل:

خطوات العمل	وصف الموقف الصّفّيّ	المنهجيّة (إستراتيجيّة التّعلّم)	الموارد حسب الموقف الصّفّيّ
أجمع البيانات، وأحلّلها	• أجمع البيانات من صاحب مصنع النظفات عن: - طبيعة اللّوحة المطلوبة، وجهد تشغيلها. - نوع المحرّك، قدرته، وجهد تشغيله. • أجمع البيانات عن: - الترياكات، وأنواعها المختلفة. - مبدأ عمل الترياك، وطريقة توصيله. - موصفات الترياك، واستخداماته. - طريقة تشغيل الترياك كمفتاح إلكترونيّ.	• التّعلّم التعاونيّ. • العصف الذهني.	• قرطاسيّة واقلام. • وثائق (كتالوجات). • الشبكة العنكبوتية.
أخطّط، وأقرّر	• أصنف البيانات وتبويبها. • أحدد الأدوات والعِدَد والأجهزة اللازمة للعمل. • رسم المُخَطّط اللازم لبناء الدارة المناسبة من خلال البيانات الَّتي وردت سابقاً. • إعداد جدول زمنيّ للتنفيذ.	• الحوار والمناقشة. • العمل التعاونيّ. • البحث العلميّ.	• قرطاسيّة. • وثائق. • نموذج الجدول الزمنيّ. • برامج رسم الدارات.
أنفّذ	• استخدام أدوات السلامة المهنيّة وفقاً للمعايير الفنيَّة وأنظمة السلامة ذات الصلة. • استخدام العِدَد والأدوات المناسبة لعمليّة الفكّ والتركيب والتثبيت. • فحص اللّوحة المطلوبة للعمل عليها. • تحديد نوع الترياك، والدارة المناسبة لبناء المفتاح. • اختيار دارة تناسب المهمة المطلوبة، والقيام ببنائها.	• التّعلّم التعاونيّ. • الحوار والمناقشة.	• صندوق العِدّة. • القطع اللازمة لعمليّة التركيب والتشغيل والصيانة. • أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة. • أدوات لحام العناصر الإلكترونيّة وفكّها. • قرطاسيّة.
أتحقّق	• التّحقّق من صلاحِيَة الدارة الَّتي قمت ببنائها. • التّحقّق من عمل الدارة لتعطي الوظيفة المطلوبة. • أعيد تقييم العمل، وأتحقّق من جودته.	• التّعلّم التعاونيّ . • الحوار والمناقشة.	• وثائق (كتالوجات). • القرطاسيّة. • أجهزة القياس والفحص الإلكترونيّة.

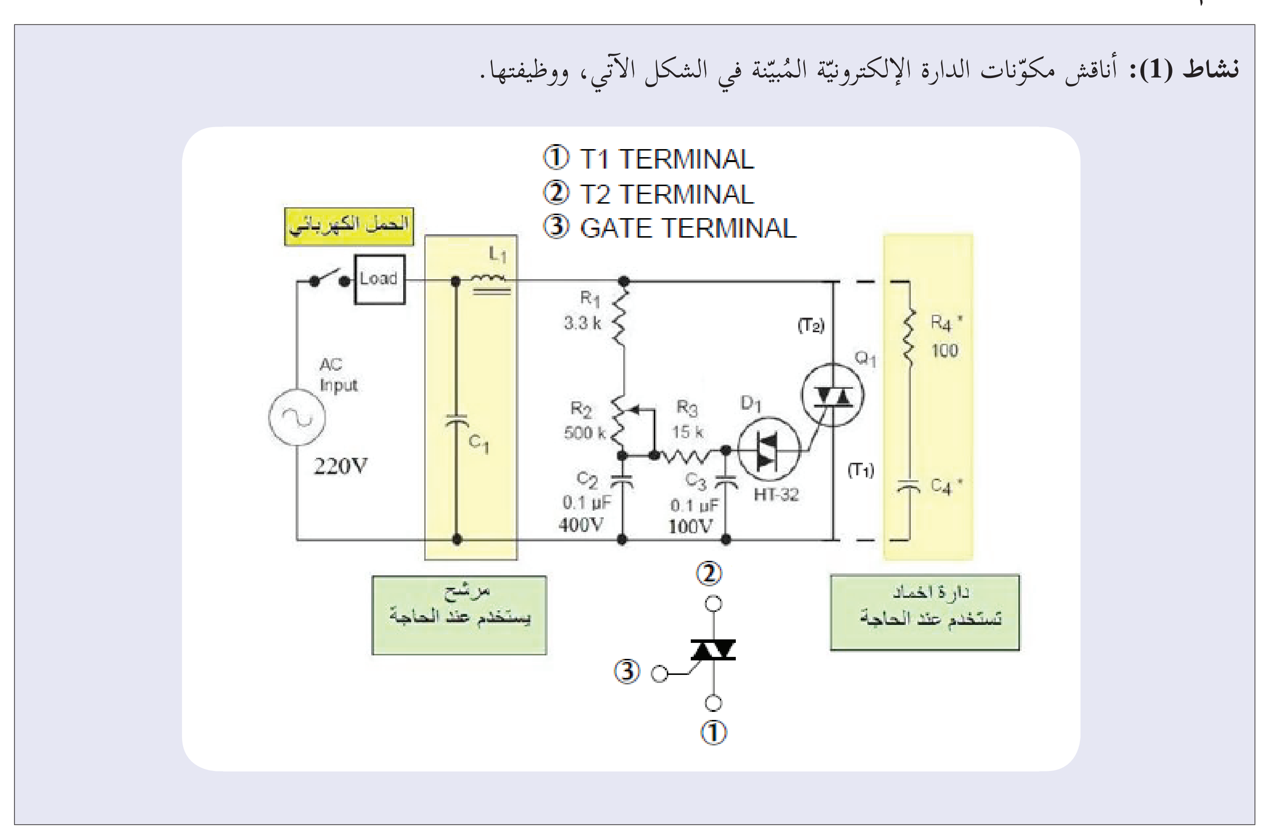
أوثّق، وأقدم	• إنشاء قوائم خاصّة بالعِدَد اليدويّة ووسائل القياس المستخدمة. • تحديد جدول زمنيّ للتسليم. • تسليم قوائم العمل لمسؤول الصيانة. • فتح ملفّ بالحالة.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• جهاز حاسوب. • جهاز عرض. • قرطاسيّة.
أقيّم	• رضا صاحب مصنع المنظفات مما يتفق مع طلبه. • المطابقة مع المواصفات والمعايير.	• الحوار والمناقشة. • البحث العلميّ.	• نماذج التقويم. • طلب الزبون.

الأسئلة:

1. ما المواصفات الفنّيّة الّتي يجب مراعاتها عند استبدال ترياك تالف.
2. بين كيف يعمل الترياك، وأين يستخدم.

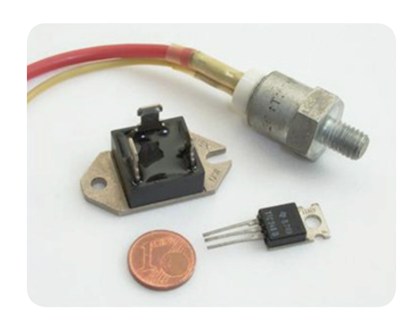
أتعلّم:

نشاط (1): أناقش مكوّنات الدارة الإلكترونيّة المُبيّنة في الشكل الآتي، ووظيفتها.



الترياك (Triac):

1- مقدمة:



يُعدّ الترياك أحد عناصر عائلة الثايرستور، وهو من العناصر المهمة في إلكترونيّات القدرة، وهو عنصر ثلاثيّ الأطراف يختلف عن الثايرستور بأنه يقوم بتمرير التيّار في الاتجاهين عندما يتمّ قدحه من ناحية، وبأنه يمكن قدحه بنبضات موجبة وسالبة من الناحية الأخرى، كما في الشكل (1).

شكل (1): بعض أشكال الترياك

ويمثل الترياك عنصراً مثالياً للتحكم بالتيّار المتغيّر الواصل للأحمال وباستعمال دارات قدح سهله. ويستخدم في التطبيقات الَّتي تتطلب التحكّم بالقدرة المتغيّرة الواصلة للأحمال مثل التحكّم بسرعة المحرّكات العامّة، شدة الإضاءة، منظّمات الجهد وغيرها.

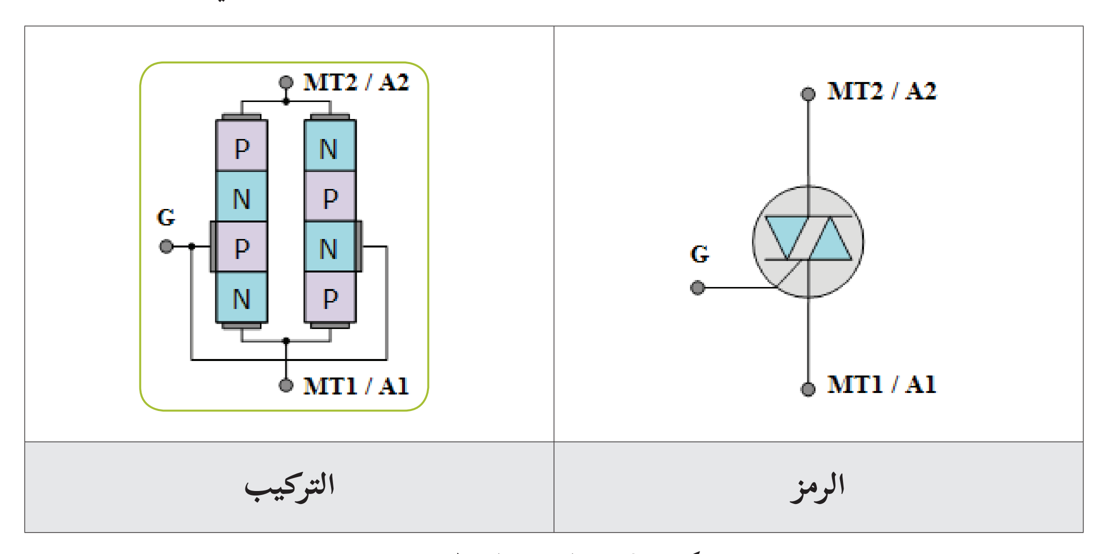
2- التركيب والرمز، للترياك ثلاثة أطراف هي:

أ- الطرف الأول (A1 أو MT1)

ب- الطرف الثاني (A2 أو MT2)

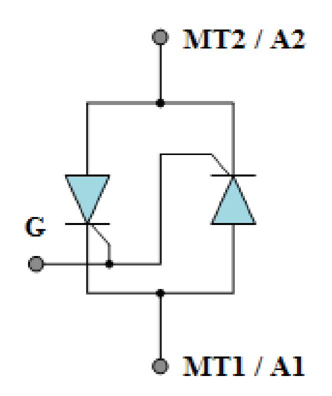
ج- البوّابة G (Gate)

يمر تيّار الحمل بين (MTI) و (MT2)، بينما الطرف (G) يستعمل لقدح الترياك، كما في الشكل (2).



شكل (2): تركيب الترياك ورمزه

إن الثايرستورات أحاديّة الاتجاه فهي تستخدم في دارات التحكّم الّتي تعمل بالتيّار المستمرّ، ولكن بوضع ثايرستورين موصولين على التوازي بشكل متعاكس، سيصبح قادراً على التعامل مع نصفي الموجة المتردّدة (AC) (كما حدث مع الدياك)، كما في الشكل (3).



شكل (3): المكافيء الثايرستوري للترياك

- **يمتاز الترياك بأنه يوصل التيّار الكهربائيّ في كلا الاتجاهين:**

» من الطرف (MT1) إلى الطرف (MT2) إذا كان جهد (MT1) أعلى من جهد (MT2)، وطبقت إشارة الإشعال بين البوّابة (G) والطرف (MT2).

» من الطرف (MT2) إلى الطرف (MT1) إذا كان جهد (MT2) أعلى من جهد (MT1)، وطبقت إشارة الإشعال بين البوّابة (G) والطرف (MT1).

3- طريقة تشغيل الترياك:

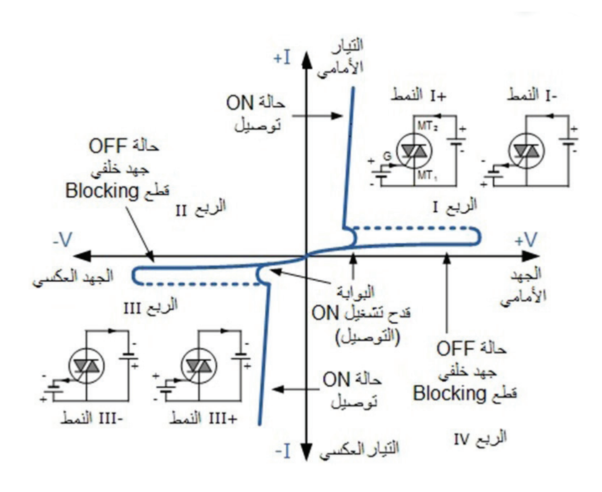
يعمل الترياك كمفتاح إلكترونيّ يقوم بتمرير التيّار بالاتجاهين بين (MT1) و (MT2) عند توفر شروط التشغيل المناسبة. وكقاعدة دارجة يتمّ تسمية التيّارات والجهود بالنسبة للطرف (MT1)، وله حالتان:

- **حالة التوصيل (ON):** عند تطبيق جهد وتجاوزه لجهد معين (جهد الانهيار) أو تيّار صغير على البوّابة، الذي يكون موجباً أو سالباً يمرّ التيّار بالاتجاهين. وعند وصول قيمة التيّار إلى تيّار الإمساك (I_H) (وهو أقل تيّار يجب مروره في الترياك حتى يبقى في حالة التوصيل) فإنّ الترياك يبقى في حالة التوصيل، حتى بعد رفع النبضة عن البوّابة.
- **حالة القطع (OFF):** ويتمّ بفصل الجهد عن البوّابة، أو عكس قطبيّة الجهد، أو أن يقل التيّار المارّ فيه إلى قيمة أقل من تيّار الإمساك (I_H)، فلا يمرّ أيّ تيّار في الترياك.

4- منحنى الخصائص ومناطق العمل:

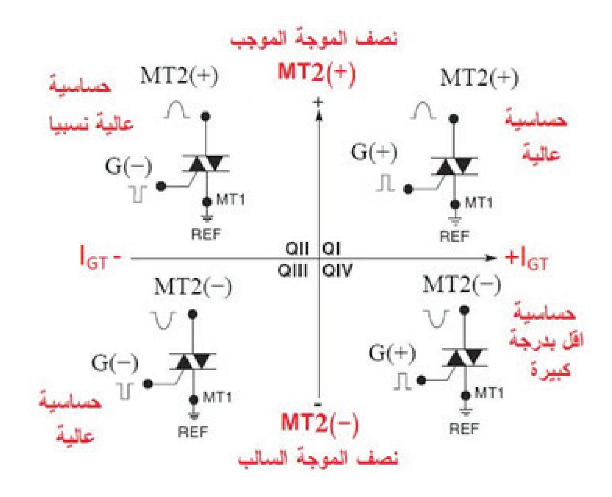
منحنى الخصائص للترياك الذي يمكن من خلاله التعرف على مناطق عمله، يلاحظ من هذا المنحنى أن الترياك عندما يعمل في الربع الأول يكون الطرف (MT2) موجباً بالنسبة للطرف (MT1)، أما في الربع الثالث فيكون الوضع معكوساً، حيث يكون الطرف (MT1) موجباً بالنسبة للطرف (MT2). عند زيادة الجهد على طرفي الترياك في الاتجاه الأماميّ

أو العكسيّ عن جهد الانهيار، فإنّ الترياك يتحوّل إلى حالة التوصيل من دون تطبيق أيّ إشارة على طرف البوّابة. وعلى الرغم من أن هذا الأمر قد لا يؤدّي إلى تلف الترياك إذا كان التيّار المارّ قليلاً، إلا أن هذه الطريقة لا يتمّ استخدامها؛ لأنّها لا توفر التحكّم المطلوب بعمل الترياك. أما إذا قل التيّار المارّ عن (I_H) فإنّ الترياك يتحوّل إلى حالة الفصل مرة أخرى، كما في الشكل (4).



شكل (4): منحنى الخصائص للترياك

وبما أن الترياك يقوم بتوصيل التيّار في الاتجاهين، ويمكن أن يتمّ قدحه بنبضات سالبة وموجبة. فإنّه يتوفر أربعة أنماط لتشغيل الترياك. ويتمّ عادة تشغيل الترياك في كلّ من الربع الأول (QI) والربع الثالث (QIII)، حيث تكون قطبيّة الطرف (MT2) مشابهة لقطبيّة إشارة البوّابة، كما في الشكل (5).



شكل (5): أنماط قدح الترياك

والجدول (1) يوضّح هذه الأنماط الأربعة.

جدول (1): أنماط عمل الترياك

النمط	G	MT1	MT2
الأول (I+)	+	-	+
الثاني (I-)	-	-	+
الثالث (III+)	-	+	-
الرابع (III-)	+	+	-

أنسب هذه الأنماط عندما تكون إشارة الطرف (MT2) وإشارة طرف البوّابة (G) متشابهة، وذلك في النمطين الأول والثالث.

5- نشرة البيانات (Data Sheet):

تعطي نشرة البيانات المعلومات الكهربائيّة والميكانيكيّة الكاملة عن العنصر الإلكترونيّ موضوع النشرة. فهي تبين القيم المقرّرة والقصوى للتيّارات والجهود الكهربائيّة، وكذلك الأبعاد الميكانيكيّة للعنصر، بالإضافة إلى شكل العنصر وتحديد أطراف التوصيل للعنصر. ويمكن الحصول على نشرة البيانات لأي عنصر إلكترونيّ بإدراج اسم العنصر في محرّك البحث (Google) على شبكة الإنترنت، كما في الشكل (6).

Philips Semiconductors — Product specification

Triacs — BT137 series

GENERAL DESCRIPTION

Passivated triacs in a plastic envelope, intended for use in applications requiring high bidirectional transient and blocking voltage capability and high thermal cycling performance. Typical applications include motor control, industrial and domestic lighting, heating and static switching.

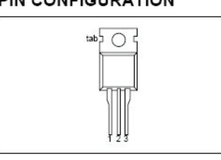
QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	MAX.	UNIT
	BT137-	600	800	
	BT137-	600F		
	BT137-	600G		
V_{DRM}	Repetitive peak off-state voltages	600	800	V
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current	8	8	A
I_{TSM}	Non-repetitive peak on-state current	65	65	A

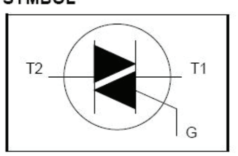
PINNING - TO220AB

PIN	DESCRIPTION
1	main terminal 1
2	main terminal 2
3	gate
tab	main terminal 2

PIN CONFIGURATION



SYMBOL



شكل (6): من نشرة البيانات الخاصّة بالترياك (BT137)

6- أهم المواصفات الفنيّة الخاصّة بالترياك:

- **الجهد العكسي الأقصى ($V_{DRM}, V_{RRM}, V_{PIV}$):** اقصى جهد عكسي يتحمله الترياك وهو في منطقة الحجز العكسيّ (بالفولت)، ويجب عدم تجاوز هذه القيمة خلال عمل الترياك.
- **القيمة الفعّالة للتيّار الأماميّ ($I_{T(RMS)}$):** أقصى قيمة فعالة للتيّار الّتي يستطيع الترياك تمريرها عندما يكون في حالة التوصيل بالأمبير.
- **تيّار القدح (I_{GT}):** قيمة تيّار قدح البوّابة، ويتراوح ما بين أدنى قيمة وأقصى قيمة (بالملي أمبير عادة) يجب الرجوع إلى نشرة بيانات الشركة الصانعة لمعرفة هذه القيم.

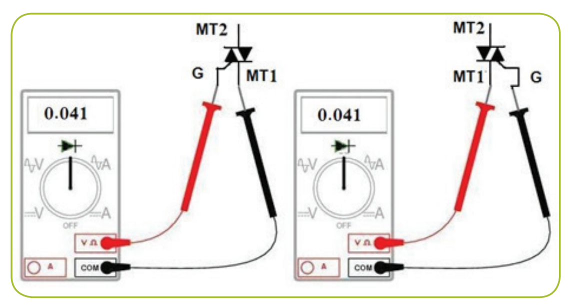
7- فحص الترياك:

تتنوّع الترياكات من حيث مقرّرات الجهد والتيّار الخاصّة بها؛ مما يفرض تغيّرات بسيطة في التركيب العام للثايرستور. وهذا يؤدّي إلى بعض الاختلاف في القراءات الّتي يتمّ الحصول عليها عند فحص العنصر. ومن الواجب تحديد أطراف الترياك قبل البدء بعمليّة فحص الترياك باستخدام نشرة البيانات أو كتب البدائل. وفيما يأتي الطرق المستخدمة في فحص الترياك:

أ- الفحص باستخدام جهاز متعدد القياسات (DMM):

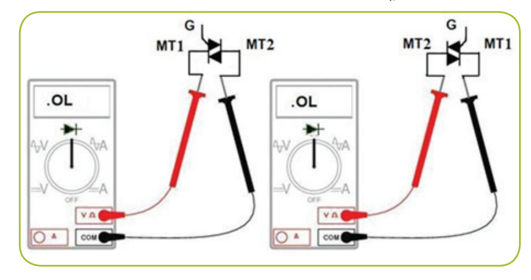
حيث يتمّ وضع الجهاز على تدريج الديود، ومن ثم:

- أخذ القراءات بين البوّابة (G) والطرف الأول (MT1) بالاتجاهين، حيث يتمّ الحصول في حالة الترياك السليم على قراءة قليلة ومتساوية بالاتجاهين؛ نظراً لوجود مقاومة داخلية بين الطرفين، كما في الشكل (7).



شكل (7): أخذ القراءات بين البوّابة (G) والطرف الأول (MT1) بالاتجاهين

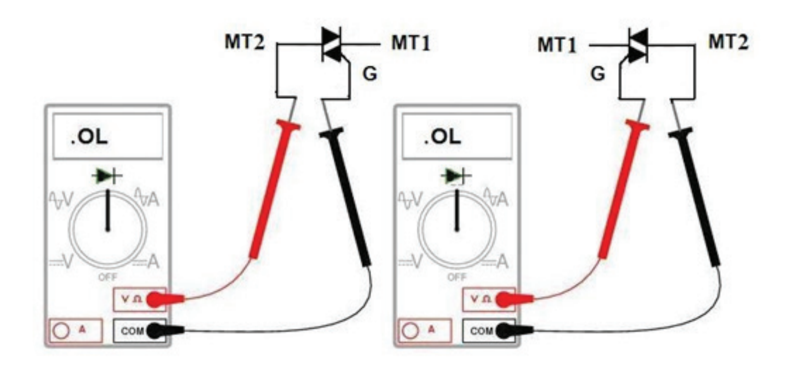
- أخذ القراءات بين الطرف الأول (MT1) والطرف الثاني (MT2) بالاتجاهين، حيث يعطي الترياك السليم مقاومة عالية جداً (OL) بالاتجاهين، كما في الشكل (8).



شكل (8): أخذ القراءات بين الطرف الأول (MT1) والطرف الثاني (MT2) بالاتجاهين



- أخذ القراءات بين البوّابة (G) والطرف الثاني (MT2) بالاتجاهين، حيث يعطي الثايرستور السليم مقاومة عالية جدّاً (OL) بالاتجاهين، كما في الشكل (9).

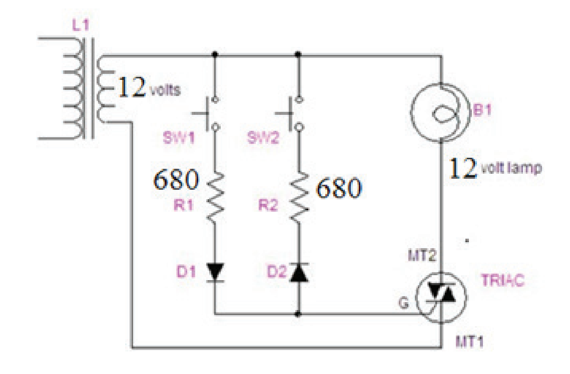


شكل (9): أخذ القراءات بين البوّابة (G) والطرف الثاني (MT2) بالاتجاهين

ومن المهم الانتباه إلى أن الحصول على قراءات تدلّ على عدم وجود خلل في الترياك باستعمال جهاز متعدد القراءات، كما تمَّ شرحه أعلاه، ولا يعني أن الترياك هو سليم فعلاً عند تشغيله في الدائرة الكهربائيّة. حيث إنَّ الفحوصات أعلاه لا تكشف وجود حالة قطع في دائرة الطرف الأول (MT1) والطرف الثاني (MT2). لذلك ومن أجل التأكد من سلامة الثايرستور بعد اجتيازه الفحوصات أعلاه يمكننا استخدام الفحوصات الآتية.

ب- الفحص بواسطة دائرة الفحص:

يتم توصيل الترياك في دائرة الفحص، فإذا كان الترياك سليماً فإنّه عند تشغيل المفتاح (SW1) أو (SW2) فإنّ المصباح يضيء إضاءة متوسّطة. أمّا عند الضغط على المفتاحين بنفس الوقت فإنّ المصباح يضيء إضاءة كاملة، كما في الشكل (10).



شكل (10): دائرة فحص الترياك

ج- باستخدام جهاز راسم الإشارة أو جهاز (Curve Tracer):

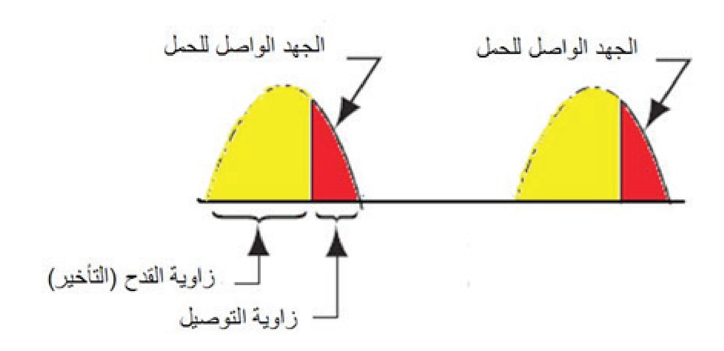
حيث يتمّ رسم منحنى الخصائص للترياك بعد تشغيل الترياك بشكل ديناميكي يضمن مرور الترياك وانتقاله بين مناطق العمل المختلفة.

نشاط (4): أكمل الجدول الآتي:						
اسم العنصر	نوع العنصر	الرمز	التركيب	مبدأ العمل	فحص العنصر	التطبيقات
الترياك						

8- بناء دارات التحكّم بالقدرة الواصلة لحمل كهربائيّ:

أ- باستخدام الثايرستور (نصف موجة محكوم):

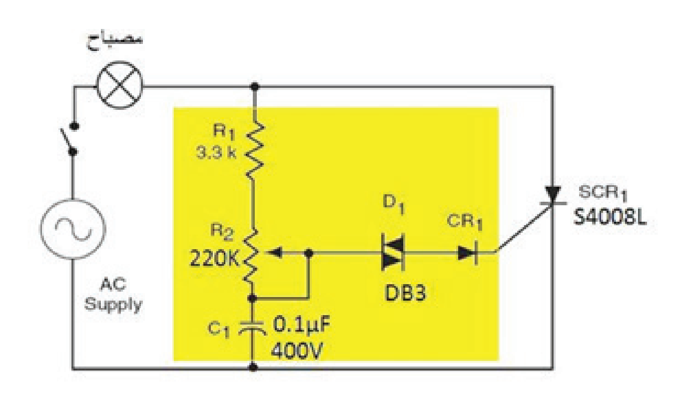
سبق أن درست دارات التقويم الّتي تستخدم فيها الديودات فقط، التي تدعى بالمقوّمات غير المحكومة، وذلك لأنّها تعطي جهد خرج مستمرّاً (VDC) ثابت القيمة، لا يمكن تغييره طالما كانت قيمة جهد الدخل المتردّد (VAC) ثابتة. ويتمّ استخدام الثايرستور أيضاً في بناء دارات تقويم يتمّ التحكّم فيها بالجهد الخارج من المقوّم. ولذلك يطلق على هذه الدارات بالمقوّمات المحكومة. ويمكن أن تكون هذه المقوّمات نصف موجة محكومة أو موجة كاملة محكومة. ومن الطرق المستخدمة للتحكم بالجهد الخارج إلى الحمل، وبالتالي التحكّم بالقدرة الواصلة إلى الحمل طريقة التحكّم بزاوية القدح. وفي هذه الطريقة يتمّ إبقاء الثايرستور في حالة الفصل لفترة خلال نصف الموجة الموجب، ومن ثم يتمّ قدحه وتحويله إلى حالة التوصيل عند لحظة معينة، يتمّ التحكّم بها بواسطة دارة القدح، وخلال فترة التوصيل يتمّ تطبيق فرق جهد المصدر على طرفي الحمل (ما عدا هبوط الجهد على طرفي الثايرستور)، كما في الشكل (11).



شكل (11): التحكّم بالقدرة بواسطة التحكّم بزاوية القدح (نصف موجه موجبة)

ولضمان نجاح عمليّة التحكّم بالقدرة الواصلة للحمل يجب أن يكون هناك تزامن بين موجة جهد المصدر ونبضات القدح للثايرستور، بحيث تكون هناك الإمكانيّة لتغيير وتثبيت زاوية القدح حسب المطلوب. وهذا يتمّ في العادة عن طريق تغذية دائرة القدح ودائرة الحمل من نفس مصدر الجهد.

- **دارة قدح الثايرستور باستخدام الدياك:** يُبيِّن الشكل (12) دارة قدح الثايرستور باستخدام الدياك. تكون العناصر (R_1)، و (R_2)، و (C_1)، و (D_1) و (CR_1) دائرة القدح للثايرستور، فيما تتألف دائرة الحمل من المصدر ومفتاح التشغيل والمحرّك والثايرستور على التوالي. يعمل الحمل فقط عندما يتحوّل الثايرستور إلى حالة التوصيل، ويتحوّل الثايرستور إلى حالة التوصيل عندما يكون جهد المصعد (A) موجباً بالنسبة للمهبط (K)، ويتمّ تطبيق نبضة موجبة على بوّابة الثايرستور (G). وكما في حالة الشكل (11) أعلاه يكون جهد المصعد (A) موجباً بالنسبة للمهبط (K) فقط خلال النصف الموجب للمصدر في الدارة شكل (12). فمنذ بداية نصف الموجة الموجب لمصدر الجهد يبدأ المكثّف (C_1) بالشحن من خلال المقاومتين (R_1) و (R_2) بالاتجاه الموجب. وفي تلك الفترة يكون جهد المكثّف أقل من جهد الانهيار الأماميّ للدياك، فيكون الدياك في حالة الفصل ولا يتمّ قدح الثايرستور. وعندما يصل جهد المكثّف إلى جهد الانهيار الأماميّ للدياك يتحوّل الدياك إلى حالة التوصيل، فيفرغ المكثّف شحنته في بوّابة الثايرستور؛ مما يؤدّي إلى قدح الثايرستور، وتحويله إلى حالة التوصيل، وتطبيق جهد المصدر على طرفي الحمل حتى نهاية نصف الموجه الموجب، عندها يقل تيّار الحمل إلى أن يصبح أقل من تيّار الاستمرار بالتوصيل للثايرستور؛ فيتحوّل الثايرستور إلى حالة الفصل، ويتوقف مرور التيّار في الحمل. أما في النصف السالب لموجة المصدر فيكون الثايرستور في حالة الانحياز العكسيّ، فلا يعمل الثايرستور، ولا يعمل الحمل. وتعتمد زاوية القدح أو التأخير على كلّ من المقاومات (R_1)، و (R_2)، و (C_1). وتزيد زاوية القدح بزيادة قيمة كلّ منها. وبالطبع فإنّ زيادة زاوية القدح تؤدي إلى تقليل الفترة الَّتي يتمّ فيها تطبيق جهد المصدر على الحمل، وبالتالي تقليل كلّ من جهد الحمل والقدرة الواصلة للحمل.

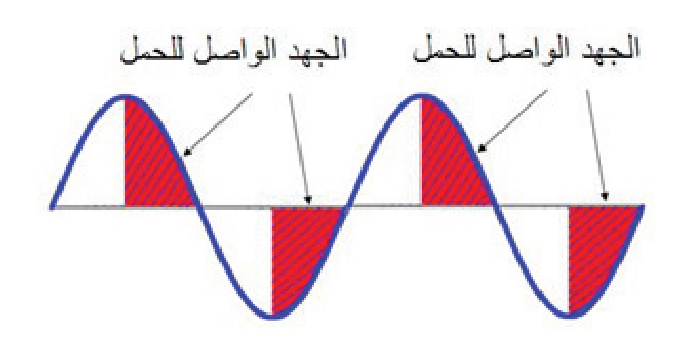


شكل (12): دارة قدح الثايرستور باستخدام الدياك

ب- باستخدام الترياك (موجة كاملة محكومة):

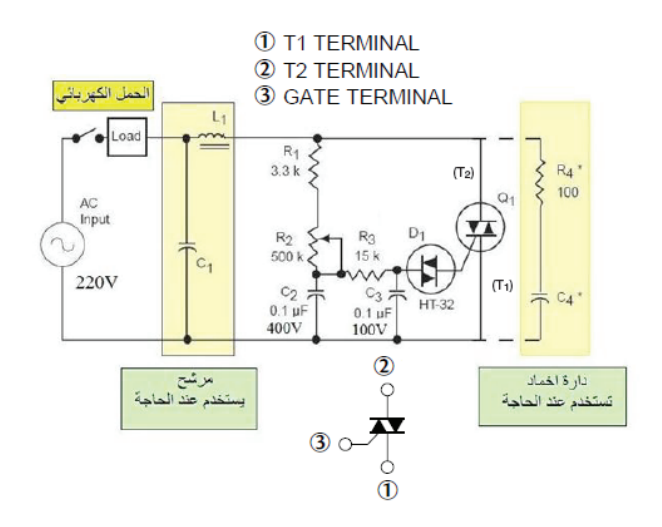
سبق أن درست دارات التقويم المحكومة الَّتي تستخدم الثايرستور، ولاحظت أن الموجة الخارجة هي موجة موجبة بجهد متغيّر يمكن التحكّم بقيمته عن طريق تغيير زاوية القدح. ويتمّ استخدام تلك الدارات للتحكم بالأحمال الَّتي تعمل على الجهد الثابت مثل محرّكات التيّار المستمرّ. ولكن بعض الأحمال الكهربائيّة تعمل بغض النظر عن قطبيّة الجهد الواصل

إلى طرفيها مثل السخانات ومصابيح التنجستون والمحرّكات العامّة، ويكفي للتحكّم بعمل هذه الأحمال تغيير الجهد على طرفيها دون الالتفات إلى قطبيّة هذا الجهد. والترياك هو عنصر إلكترونيّ يقوم بتمرير التيّار بالاتجاهين. وعلى هذا الأساس تمَّ بناء دارات باستخدام الترياك للتحكم بالحرارة، وشدة الإضاءة، وسرعة المحرّكات العامّة المستخدمة في الخلاطات، والمقادح، والمكانس الكهربائيّة، كما في الشكل (13).



شكل (13): التحكّم بالقدرة بواسطة التحكّم بزاوية القدح (موجة كاملة متغيّرة)

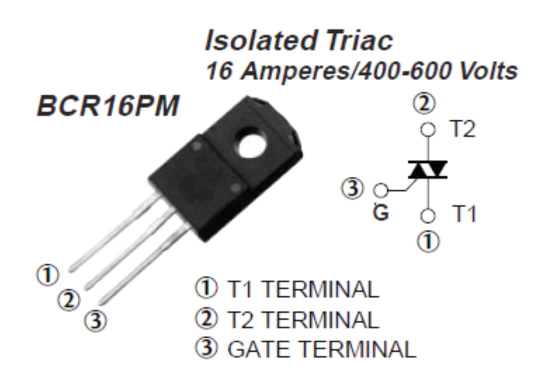
يُبيِّن الشكل (14) دارة التحكّم بالقدرة الواصلة للأحمال الكهربائيّة باستخدام الترياك. في هذه الدارة يتمّ قدح الترياك بواسطة الدياك. ويتمّ التحكّم بالجهد الواصل إلى طرفي الحمل بواسطة المقاومة المتغيّرة (R_2). في كلّ من نصفي موجة المصدر (السالب والموجب) يتمّ شحن المكثّف (C_3) من خلال المقاومات (R_1)، و (R_2) و (R_3) حتى يصل الجهد على المكثّف إلى جهد الانهيار للدياك.



شكل (14): دارة التحكّم بالقدرة الواصلة للأحمال الكهربائيّة باستخدام الترياك

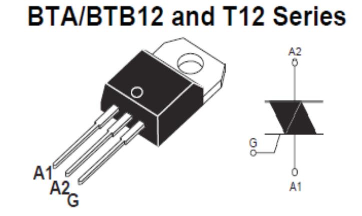
عندها يتحوّل الدياك إلى حالة التوصيل، فيفرغ المكثّف (C_3) شحنته في بوّابة الترياك؛ مما يؤدّي إلى قدحه وتحوله إلى حالة التوصيل؛ مما يؤدّي إلى تطبيق جهد المصدر على طرفي الحمل. أما الفلتر المكون من (L_1) و (C_1(0.15µF، 2.5µH

فيقوم بإزالة التشويش الحاصل على شبكة التغذية نتيجة تشغيل الدارة، والذي قد يؤثر على الأجهزة القريبة من الدارة. أما دائرة الإخماد والمكونة من مواسع ومقاومة (100Ω، 0.1µF - 400V) موصولين على التوالي، التي يتمّ وصلها على التوازي مع الترياك والثايرستور أيضاً، فتقوم بتقليل معدل التغيّر في الجهد حول الترياك؛ ممّا يؤدّي إلى حماية الترياك، ومنعه من العمل في الاتجاه غير المرغوب بسبب تغيّر الجهد على طرفي الترياك. وتستخدم دارة الإخماد مع الأحمال الحثّيّة مثل المحرّكات.



ويُبيِّن الشكل (15)، بعض أنواع الترياكات المستخدمة في دوائر التحكّم بمقدار القدرة الواصلة للحمل.

Symbol	Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	12	A
V_{DRM}/V_{RRM}	600 and 800	V
$I_{GT\ (Q_1)}$	10 to 50	mA

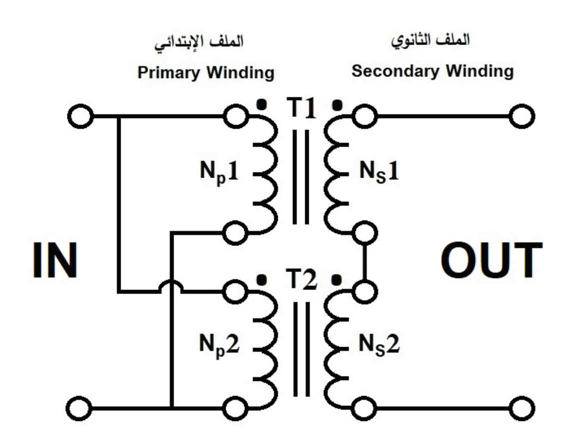


شكل (15): ترياكات مختلفة (12A/16A) وبجهود تحمل تصل إلى (800V)

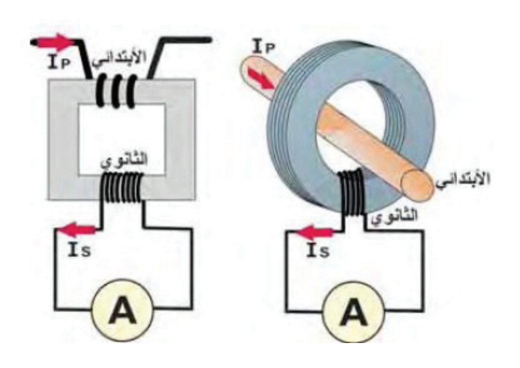
أسئلة الوحدة

السؤال الأول:

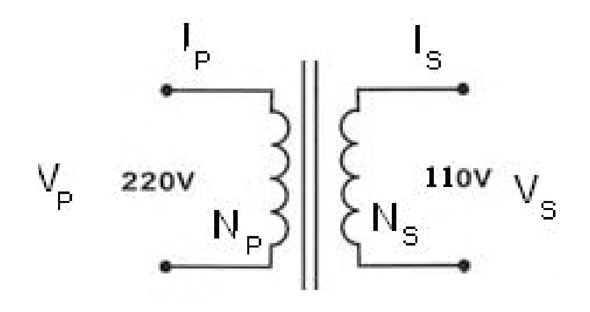
1- بيِّن أهم مواصفات نقاط اللِّحام الجيِّدة.
2- وضِّح أهم المواصفات الفنِّيَّة المُهِمَّة للثنائيّات.
3- وضِّح مبدأ عمل المحوِّل الكهربائيّ.
4- ما المقصود بالمحوِّل الخافض للجهد، بيِّن ذلك بالرسم.
5- ما المواصفات الفنِّيَّة للمحوِّل.
6- اذكر ثلاثة من استخدامات المحوِّل أحاديّ الطور.
7- ما الفائدة من توصيل محوِّلين على التوالي من جهة الحمل.



8- بيِّن التوصيلات المختلفة لمحولين كلّ منهما أحاديّ الطور مستعيناً بالرسم.
9- اكتب تقريراً عن نوع المحوِّل المبيّن في الشكل التالي موضّحاً طبيعة استخدامه.



10- المحوِّل أحاديّ الطور المبين في الشكل أدناه، محوّل خافض للجهد، سعته (100VA) وجهد الملفّ الابتدائيّ له (220V) وعدد لفّاته (500 لفّة).



احسب ما يأتي:

» عدد لفّات الملفّ الثانويّ للحصول على جهد ثانويّ مقداره (110V).

» التيّار في كلّ من الملفّ الابتدائيّ والملفّ الثانويّ.

السؤال الثاني:

1- بالرجوع إلى أنواع الديودات:

- ما السبب في اختلاف قيمة جهد انحياز الديود من ديود لآخر؟
- ما أعطال الديودات وأسبابها؟
- هل يمكن استبدال الديود (BA157) بالديود (BY399)؟ وضّح إجابتك.

2- ما الفرق بين منحنى الخصائص لديود السيلكون والجرمانيوم؟

3- وضِّح بالرسم تركيب المحوِّل العام.

محوِّل خافض للجهد (220VAC/12VAC) وعدد لفّات الملفّ الابتدائيّ (200 لفة)، احسب عدد لفّات الملفّ الثانويّ.

4- قارن بين محوّل التوفيق ومحول العزل. من حيث استخدام كلّ منهما.

5- اقرأ المواصفات الفنِّيَّة للمحوِّل الآتي:

6- ما عيب دارة التوحيد لموجة كاملة باستخدام محوّل ذي نقطة منتصف؟



السؤال الثالث: أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1- ما علاقة التحويل ما بين التيّارين ($\frac{I_p}{I_s}$) في المحوِّل أحاديّ الطور؟

أ. طرديّة لعدد اللفّات لكلّ من الملفّين.

ب. عكسيّة لعدد اللفّات لكلّ من الملفّين.

جـ. متساوية لعدد اللفّات لكل من الملفّين.

د. غير ذلك.

2- لماذا تستخدم محوّلات أجهزة القياس؟

أ. لقياس تيّارات وجهود ذات قيم صغيرة بأجهزة قياس مصمّمة لقياس قيم كبيرة.

ب. لقياس تيّارات وجهود ذات قيم كبيرة بأجهزة قياس مصمّمة لقياس قيم صغيرة .

جـ. لأنّ دقّتها عالية .

د. لأنّ أيّ خطأ في القياس سيؤثّر سلباً على عمل هذه الأجهزة.

3- لماذا يستخدم محوّل العزل؟

أ. لرفع الجهد.

ب. لخفض الجهد.

جـ. لتوفيق الممانعة.

د. لعزل الأجهزة الكهربائيّة عن الشبكة العمومية.

4- علامَ يعتمد المُرحّل في مبدأ عمله بشكل أساسيّ؟

أ. على الملفّ المغناطيسيّ.

ب. على المقاومة كهربائيّة.

جـ. على الملامسات.

على الثنائيّ.

5- ما الهدف من إضافة مكثف على التوازي مع الحمل في دارات تقويم الموجة؟

أ. تقليل تيّار الدخل.

ب. تقليل التموجات لإشارة الخرج.

جـ. تقليل التموجات لإشارة الدخل.

د. زيادة تيّار الخرج.

6- على ماذا تدلّ الأرقام الخاصّة بالمنظّم (7812C)؟

أ. منظّم موجب متغيّر.

ب. منظّم موجب بقيمة جهد (78V).

جـ. منظّم سالب بقيمة جهد (12V).

د. منظّم موجب بقيمة جهد (12V) وأقصى تيّار حمل (1.5A) .

7- في أيّ منطقة يعمل الترانزستور كمفتاح؟

أ. القطع والفعّالة.

ب. الإشباع والفعّالة.

جـ. الإشباع.

د. القطع والإشباع.

8- ما عدد وصلات ترانزستور ثنائيّ القطبيّة (BJT)؟

أ. ثلاث وصلات.

ب. وصلتان.

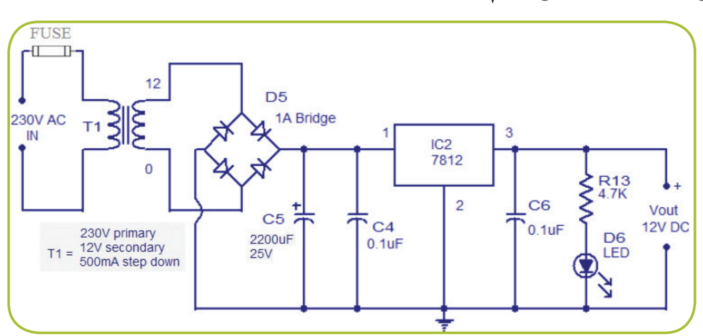
جـ. أربع وصلات.

د. وصلة واحدة.

السؤال الرابع:

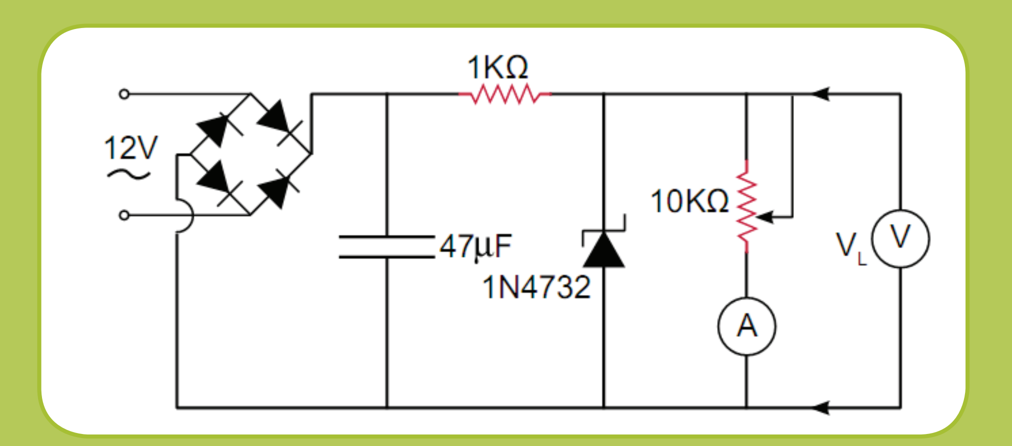
بالرجوع إلى مخطّط دارة (مصدر تغذية منظّمة يعطي جهداً ثابتاً مقداره (+12V)، ناقش أثر حدوث كلّ من الأعطال الآتية على جهد الخرج وعمل الدارة بشكل عام.

- دارة مفتوحة في أحد ثنائيّات القنطرة.
- دارة قصر في أحد ثنائيّات القنطرة.
- دارة قصر في مكثّف (2200µF).
- قطع في الملفّ الثانويّ للمحوِّل.
- دارة مفتوحة في مكثّف (2200µF).
- عطل في المنظّم (7812).

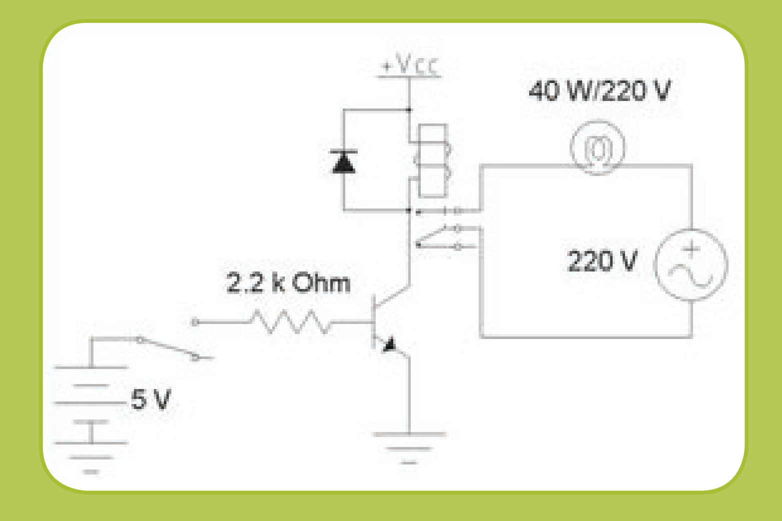


مشروع (1): المطلوب توصيل الدائرة الموضحة في الشكل أدناه الَّتي تمثل زينر يعمل في دائرة تثبيت الجهد، ثم قم:

- بقياس جهد الخرج (V_L)، مع تغيير قيمة مقاومة الحمل المتغيّرة (10KΩ).
- بتسجيل قيم جهد الخرج وتيّار الحمل في جدول.



مشروع (2): المطلوب بناء دائرة المواءمة المُبيّنة في الشكل أدناه: وذلك باستخدام ترانزستور من نوع (NPN) برقم (BC107) لتشغيل مصباح كهربائيّ يعمل على جهد (220VAC) بواسطة جهد (5VDC) من خلال ريلاي مقاومته (200Ω) يعمل على جهد (5VDC)؟ ثم بيِّن ما وظيفة الديود العكسيّ في حماية الترانزستور.



الوحدة النمطيّة الخامسة

صيانة المحرّكات الكهربائيّة وتشغيلها

أتأمل ثم أناقش: المحرّك الكهربائيّ هو قلب الماكينة الصناعيّة



يتوقع من الطلبة بعد دراسة وحدة صيانة المحركات الكهربائية وتشغيلها، والتفاعل مع أنشطتها، أن يكونوا قادرين على تركيب المحرّكات الكهربائيّة الأساسيّة، وتشغيلها، وإجراء الصيانة لها حسب تعليمات السلامة المتبعة، وذلك من خلال الآتي:

1- تشغيل محرّك تيّار مستمرّ.

2- تشخيص أعطال محرّكات التيّار المستمرّ وإصلاحها.

3- تشغيل محرّك تيّار متناوب أحاديّ الطور.

4- تشغيل محرّك تيّار متناوب ثلاثيّ الطور.

5- تشخيص أعطال محرّكات التيّار المتناوب وإصلاحها.

الكفايات المهنيّة

الكفايات المتوقّع امتلاكها من الطلبة بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة هي:

أولاً- الكفايات الحرفيّة، وتتمثل في القدرة على:

1 - قراءة الرموز الكهربائيّة الخاصّة بالمحرّكات.
2 - التعرف على مبدأ العمل والأجزاء الرئيسية واللّوحة الاسميّة لمحرّك تيّار مستمرّ.
3 - فكّ وتجميع محرّك تيّار مستمرّ.
4 - تشغيل محرّك تيّار مستمرّ ذي إثارة ذاتية، وعكس اتجاه دوران المحرّك.
5 - تشغيل محرّك تيّار مستمرّ ذي إثارة منفصلة، وعكس اتجاه دوران المحرّك.
6 - تشخيص أعطال منتج محرّك التيّار المستمرّ.
7 - استخدام التعليمات والإرشادات الواردة في الدروس في تشغيل الأحمال الكهربائيّة المختلفة بصورة آمنة.
8 - التّحقّق من مبدأ عمل المحرّك الحثّيّ ثلاثيّ الطور.
9 - فكّ محرّك حثّيّ ثلاثيّ الطور ذي قفص سنجابي، ومعرفة أجزائه، وإعادة تركيبه.
10 - تشغيل محرّك حثّيّ ثلاثيّ الطور ذي قفص سنجابي وعكس اتجاه دورانه.
11 - تشغيل محرّك حثّيّ ثلاثيّ الطور ذو عضو دوار ملفوف.
12 - تشغيل محرّك أحاديّ الطور ذو مواسع ومفتاح طرد مركزي، وعكس دورانه.
13 - تشغيل محرّك عام، وعكس دورانه.
14 - تشخيص أعطال المحرّكات أحاديّة الطور وثلاثيّة الطور.

ثانياً- الكفايات الإجتماعية والشخصية:

1 - مصداقيّة التعامل مع الزبون.
2 - حفظ خصوصية الزبون.
3 - تلبية رغبات الزبون.
4 - تطوير الذات.
5 - القدرة على تحمل النقد.
6 - الالتزام بأخلاقيّات المهنة.
7 - احترام رأي الزبون.

ثالثاً- الكفايات المنهجيّة:

1 - التّعلّم التعاونيّ.
2 - البحث العلميّ.
3 - العصف الذهنيّ.

قواعد الأمن والسلامة المهنيّة

1 - ارتداء ملابس السلامة المهنيّة المناسبة قبل البدء في العمل (خوذة، وحذاء معزول، وكفوف يدوية، وروب العمل).

2 - استخدام العِدَد المناسبة لفكّ الآلات الكهربائيّة.

3 - فحص العِدَد اليدويّة قبل استخدامها والتأكد من أنها سليمة.

4 - عدم استعمال عِدّة بديلة مؤقّتة كأن تكون مصممة لغرض آخر.

5 - التدرب على استخدام الطفايات.

6 - التأكد من فصل مصدر الطاقة قبل بدء العمل.

7 - المحافظة على الأجزاء والقطع عند فكّها وتركيبها.

8 - المحافظة على سلامة الآلات والمُعَدّات.

5 - 1 الموقف التعليميّ الأول: تشغيل محرّك تيّار مستمرّ

وصف الموقف التّعلّميّ:

حضر صاحب مصنع دفاتر إلى مؤسسة صيانة الآلات الصناعيّة يريد أن يركب محرّك كهربائيّ لرافعة شوكية وطلب تحديد مواصفات المحرّك الكهربائيّ اللازم لعمليّة التركيب والتشغيل.

العمل الكامل:

خطوات العمل	وصف الموقف الصّفّيّ	المنهجيّة (إستراتيجيّة التّعلّم)	الموارد حسب الموقف الصّفّيّ
أجمع البيانات، وأحللها	• أجمع البيانات من صاحب مصنع الدفاتر عن طبيعة عمل الرافعة الشوكيّة. • أجمع بيانات عن: - تركيب محرّكات التيّار المستمرّ. - اللّوحة الاسميّة للمحرّك وتفسير بياناتها. - طرق تغذية محرّكات التيّار المستمرّ. - أنواع محرّكات التيّار المستمرّ المستخدمة (توالٍ/ توازٍ/ مركّب). - طرق تشغيل محرّكات التيّار المستمرّ، وعكس اتجاهها، والتحكّم بسرعتها. - العلاقات الكهربائيّة الرياضية البسيطة المستخدمة في حسابات الأحمال لمحرّكات التيّار المستمرّ وتحليلها. - وسائل الحماية والسلامة المهنيّة المتبعة في تركيب المحرّكات وتشغيلها.	• البحث العلميّ. • الحوار والمناقشة.	• قرطاسيّة وأقلام. • وثائق (كتالوجات). • الشبكة العنكبوتية.
أُخطّط، وأُقرّر	• أصنف البيانات وتبويبها. • أحدد الأدوات والعِدَد والأجهزة اللازمة للعمل. • تحديد خطوات العمل: - مقارنة قدرة المحرّك الكهربائيّ مع الأحمال الكهربائيّة المتّصلة به. - مراجعة مخطّط لوحة توصيل المحرّك مع اللّوحة الاسميّة للمحرّك. - مطابقة وسائل الحماية المناسبة للمحرّك. • إعداد جدول زمنيّ للتنفيذ.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• قرطاسيّة. • وثائق. • نموذج الجدول الزمنيّ.

أُنفّذ	• استخدام أدوات السلامة المهنيّة وفقاً للمعايير الفنّيّة وأنظمة السلامة ذات الصلة. • استخدام العِدَد والأدوات المناسبة لعمليّة الفكّ والتركيب والتثبيت. • تعرية أطراف الأسلاك وتركيب نهايات الكوابل وكبسها. • تثبيت المحرّك في المكان المخصّص له. • تركيب وسيلة الحماية المناسبة للمحرّك حسب مقرّرات المحرّك الأمبيريَّة. • توصيل أطراف المحرّك مع مصدر الجهد (البطّاريّة) ووسيلة الحماية المناسبة.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ. • العصف الذهني.	• صندوق العِدّة. • القطع اللازمة لعمليّة التركيب والتشغيل والصيانة. • أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة.
أتحقّق	• التّحقّق من السلامة والاحتياطات الَّتي تمَّ أخذها بعين الاعتبار أثناء فكّ المحرّك وتركيبه. • التّحقّق من تشغيل المحرّك حسب لوحة المحرّك الاسميّة. • التّحقّق من قيمة التيّار المسحوب من المحرّك أثناء العمل للتأكُّد من مطابقته لمواصفات المحرّك. • التّحقّق من جودة العمل.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة. • وثائق.
أُوثِق وأقدم	• إنشاء قوائم خاصّة بالعِدَد اليدويّة ووسائل القياس المستخدمة. • تحديد جدول زمنيّ للتسليم. • تسليم قوائم العمل لمسؤول الصيانة. • فتح ملفّ بالحالة.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• جهاز حاسوب. • جهاز عرض. • قرطاسيّة.
أُقوم	• رضا صاحب المصنع بما يتفق مع الطلب. • المطابقة مع المواصفات والمعايير.	• الحوار والمناقشة. • البحث العلميّ.	• نماذج التقويم. • طلب الزبون.

الأسئلة:

1. أوضح كيف يتمّ تحديد نوع المحرّكات الكهربائيّة؟
2. أوضح كيف يتمّ اختيار المحرّك المناسب لطبيعة العمل؟
3. ما وظيفة الفرش الكربونية (الفحمات) في محرّك تيّار مستمرّ؟
4. ما السبب في سرعة اهتراء الفرش الكربونية، وكذلك اهتراء الحلقات النحاسيّة للموحّد؟

أتعلّم:

نشاط: احصل على مجموعة من المحرّكات الكهربائيّة وصنفها حسب جهد التشغيل.

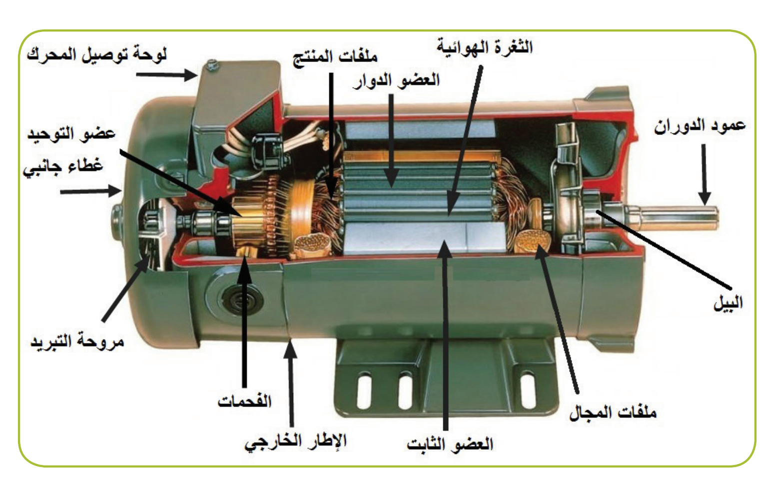
أولاً- مبدأ عمل محرّكات التيّار المستمرّ (DC Motor) ومكوّناتها، وأنواعها:

المحـرّك الكهربائـيّ: هـو آلـة كهربائيّـة تحـوّل الطاقـة الكهربائيّـة إلـى طاقـة ميكانيكيّـة، وتركيبـه مثـل تركيـب مولّـدات التيّـار المسـتمرّ.

1- تركيب آلة التيّار المستمرّ (محرّك/ مولد): تتكون آلة التيّار المستمرّ من جزئين رئيسين:

- **العضو الثابت:** مسؤول عن توليد المجال المغناطيسيّ، ويكون مغناطيساً دائماً أو ملفّات لتوليد مغناطيس.
- **العضو الدوار:** ويُسمّى عضو الاستنتاج أو المنتج، وفيه تتحوَّل الطاقة الميكانيكيّة إلى طاقة كهربائيّة.

يفصل العضو الثابت عن العضو الدّوّار الفجوة الهوائيّة، والشكل (1) يوضّح تركيب محرّك التيّار المستمرّ.



شكل (1): تركيب محرّك التيّار المستمرّ

أ- العضو الثابت/ الساكن (Stator):

- الإطار الخارجيّ أو الهيكل (Yoke):

يصنع من الصلب المسبوك، حيث يفضّل عن الحديد الزهر، لكبر معامل نفاذه المغناطيسيّ؛ مما يجعل حجم الهيكل صغيراً عما إذا كان من الحديد الصلب، كما أنه يمتاز عنه بخصائصه الميكانيكيّة، وفائدة الهيكل هي:

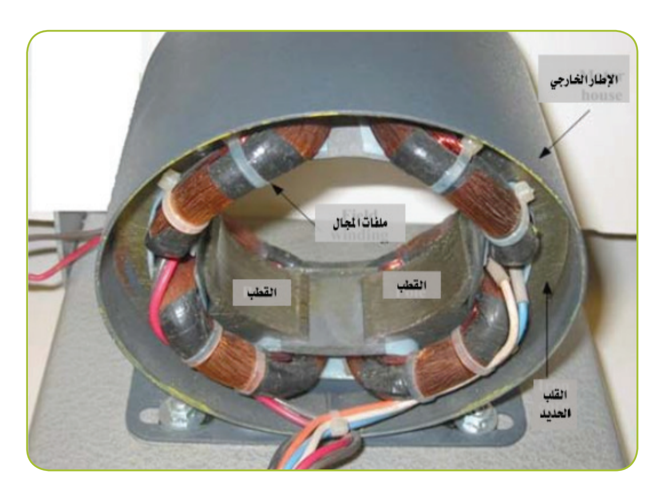
- حمل وتثبيت الأقطاب المغناطيسيّة بتثبيتها على المحيط الداخليّ له بمسامير قلاووظ.
- تكملة الدائرة المغناطيسيّة للأقطاب.

- الأقطاب الرئيسية/ أقطاب المجال (Field Poles):

وتصنع من شرائح الصلب المضغوطة بعضها فوق بعض، وتكون معزولة عن بعضها لتقليل التيّارات الإعصارية، وتثبت هذه الأقطاب داخل الهيكل، ويركب عليها واجهة للقطب تسمى (بحذاء القطب) (أقطاب بارزة) يعمل على توزيع وانتظام خطوط الفيض في الفجوة الهوائيّة، ويوجد حول الأقطاب الرئيسية ملفّات المجال.

- ملفّات المجال/ الأقطاب (Field Coils):

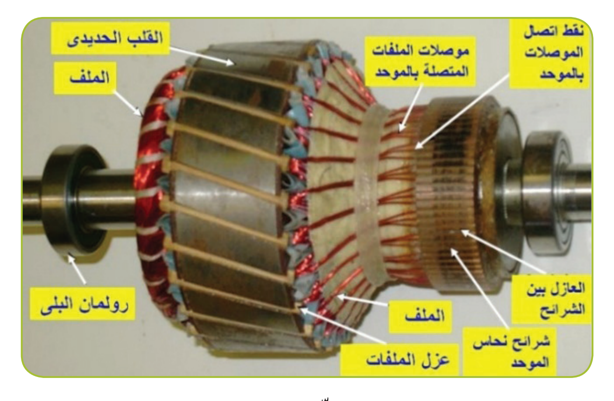
وهذه الملفّات هي المسؤولة عن توليد المجال المغناطيسيّ عند مرور التيّار بها، وتلفّ هذه الملفّات حول القطب نفسه وليس حول واجهة القطب، وتصنع إما من أسلاك النحاس المعزولة، أو من الشرائح النحاسية، كما في المحرّكات الكبيرة، كما في الشكل (2).



شكل (2): تركيب العضو الثابت لمحرّك تيّار مستمرّ

ب - العضو الدّوّار/ عضو الإنتاج (Rotor):

يُبيِّن الشكل (3) أجزاء العضو الدّوّار لمحرّك تيّار مستمرّ، والذي يتكوّن من:



شكل (3): العضو الدّوّار لمحرّك تيّار مستمرّ



- قلب المنتج (العضو الدوار) (Armature Core):

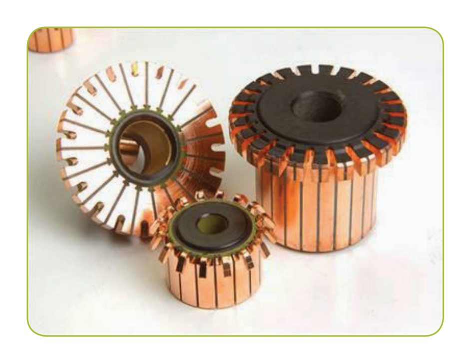
هو جزء أسطواني مصنوع من شرائح من الصلب مضغوطة بعضها مع بعض، ومعزولة كهربائيّة بواسطة طبقة رقيقة من الورنيش؛ وذلك لتقليل التيّارات الدوامية، ويوجد على محيط المنتج مجارٍ (شقوق - Slots) يتمّ إسقاط ملفّات المنتج بداخلها، ويركب بداخله عمود الدوران الذي يثبت عليه البيليتين ومروحة التبريد.

- ملفّات المنتج (Armature Winding):

وهي عبارة عن مجموعة من الملفّات، وكل ملفّ عبارة عن مجموعة من الموصلات يتمّ وضعها في مجاري المنتج، وتثبت الملفّات داخل المجاري بواسطة عوازل؛ وذلك لحمايتها من التحرك بسبب القوة الطاردة المركزيّة أثناء الدوران؛ فلا تخرج من المجاري.

- عضو التوحيد أو العاكس (الموحد - Commutator):

- عبارة عن حلقات تلحم مع نهايات ملفّات عضو الإنتاج لتسهل انزلاق الفرش الكربونية عليها؛ ليعبر من خلالها التيّار إلى ملفّات المنتج.
- **وظيفة الموحد:** أنه يعمل على عكس اتجاه التيّار في ملفّات المنتج للحصول على عزم دوران مستمرّ في اتجاه واحد؛ حتى يستمر في دورانه في اتجاه واحد، كما في الشكل (4).

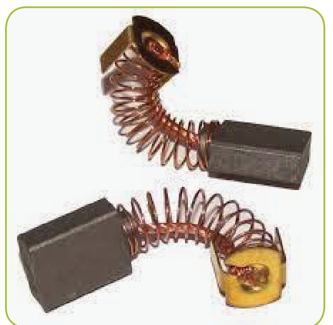


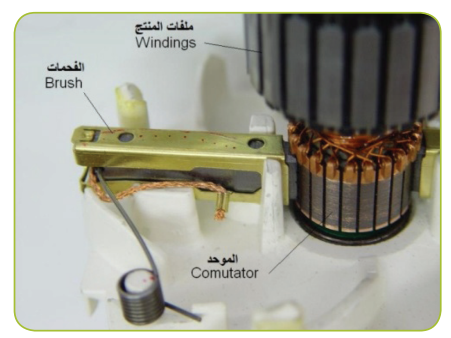
شكل (4): عضو التوحيد أو العاكس

- الفرش الكربونية (Brush):

وتصنع من الكربون النقي أو خليط من مسحوق النحاس الأحمر والكربون، وتركب على حامل خاص يحتوى على صناديق تمر من خلالها الفرش، وهو ما يُسمّى (بيت الفرش) أو (ماسك الفرش)، ويضغط عليها بواسطة زنبرك لضمان التلامس بينها وبين قطاعات عضو التوحيد، كما في الشكل (5).

وفائدة الفرش: هي توصيل التيّار الكهربائيّ من الدائرة الخارجيّة إلى ملفّات عضو الإنتاج.





شكل (5): عضو التوحيد والفرش الكربونية



- **الغطاءان الجانبيان:**

يصنعان من نفس المعدن المصنوع منه الهيكل الخارجيّ، ويثبتان بواسطة مسامير بصواميل، وفائدتهما حمل عضو الإنتاج، بحيث يدور دوراناً مركزيّاً، ولا يحتكّ بالعضو الثابت، ويحتوى كلّ من الغطاءين الجانبيين على البيل.

2- ميزات محرّكات التيّار المستمرّ واستخداماته:

- سهولة التحكّم بالسرعة والتشغيل.
- عزم بدء دوران عالٍ، يصل إلى حوالي خمسة أضعاف الحمل الكامل.

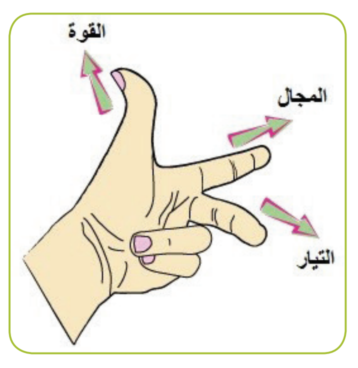
- **استخداماته:**
  - بادئات الحركة في السيارات.
  - الرافعات والرافعات وآلات الجر ومُعَدّات الخدمة الثقيلة ذات الأحمال العالية.
  - الطائرات والسفن وآلات القطع والنسيج والقطارات الكهربائيّة والمولّدات.

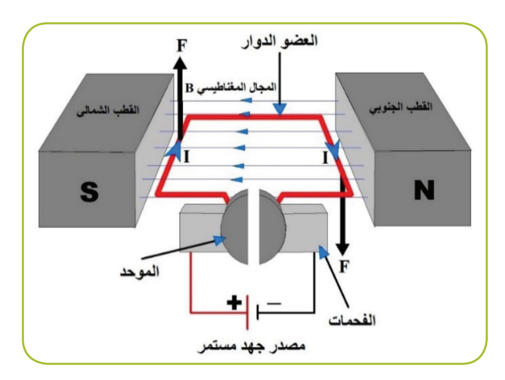
3- نظريّة عمل محرّك التيّار المستمرّ (DC):

بنيت نظريّة عمل محرّك التيّار المستمرّ على قانون فارادي للمحرّك الكهربائيّ، والذي ينص على أنه (إذا مرّ تيّار كهربائيّ في موصل موضوع في مجال مغناطيسيّ، فإنّه ينشأ على هذا الموصل قوة دافعة كهربائيّة (E.M.F) تعمل على تحريك الموصل). حيث إنَّه عند تغذية ملفّات المجال من مصدر تيّار مستمرّ (كالبطّاريّة مثلاً) ومرور تيّار فيها، يتمّ تولّد مجال مغناطيسي، الذي بدوره يقطع ملفّات المنتج الموجودة فعلاً داخل العضو الدوار؛ فيتولد مجال مغناطيسيّ آخر محصل، ونتيجة لهذين المجالين الناتجين ينشأ عنهما عزم دوران يعمل على دوران العضو الدوّار.

القوة الدافعة الكهربائيّة: عندما يمرّ تيّار كهربائيّ في موصل نحاسي، وكان هذا الموصل يدور تحت تأثير المجال المغناطيسيّ الناشئ من مغناطيس، فإنّه يتولد في هذا الموصل قوة دافعة كهربائيّة (E.M.F)، ويرمز لها بالرمز (E_a)، ووحدتها الفولت (V).

ويمكن تحديد اتجاه دوران العضو الدّوّار في المحرّك الكهربائيّ حسب قاعدة اليد اليسرى للمحرّك، كما هو مبيّن في الشكل (6)، حيث يشير الإبهام إلى اتجاه الحركة الموصل، أيّ اتجاه القوة المؤثرة (F) على حركة الملفّ ، بينما تشير السبابة إلى اتجاه المجال المغناطيسيّ (B) (المتولد من ملفّات المجال ويكون اتجاهه من N إلى S)، أما الوسطى فتشير الى اتجاه مرور التيّار (I) في تلك الموصلات.



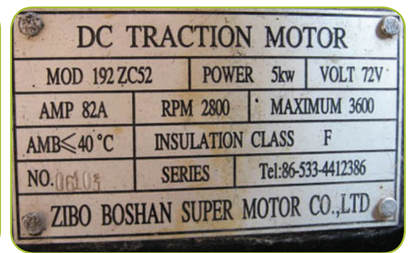


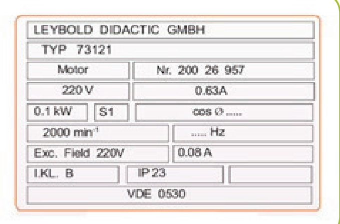
شكل (6): قاعدة اليد اليسرى (فلمنج) لتحديد اتجاه دوران المحرّك

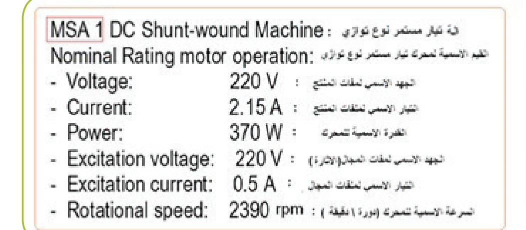
4- اللَّوحة الاسميّة للمحرّك (Motor Name Plate):

عادة ما تحتوي اللَّوحة الاسميّة على ما يأتي، كما في الشكل (7):

- نوع الجهد الذي يعمل عليه المحرّك ومقداره بالفولت (V).
- شدة التيّار المارّ بالمحرّك عند الحمل الكامل (A).
- سرعة المحرّك (RPM) (دورة/ دقيقة).
- قدرة المحرّك (بالكيلوواط) (KW) أو/ و بالحصان الميكانيكيّ (HP).
- نوع وطراز المحرّك (توالٍ - توازٍ - مركب).
- درجة الحرارة الَّتي يتحمّلها المحرّك.
- الرقم المتسلسل (الموديل - TYPE) للشركة الصانعة.
- تاريخ الصنع للمحرّك.
- نوع الحماية ودرجتها (IP) (تتكون عادة من رقميّن: الأول يدل على الحماية ضد تغلغل الأجسام الصلبة، والثاني يدل على الحماية ضد تغلغل السوائل).
- درجة العزل (CLASS - A - H) (إن وجدت).
- نوع الخدمة (مستمرّة أم متقطعة) (مثلاً (S1)).
- الوزن للمحرّك (WEIGHT).
- معامل القدرة (إن وجد) (cosθ).
- التردّد الذي يعمل عليه المحرّك (Hz) (إن وجد).







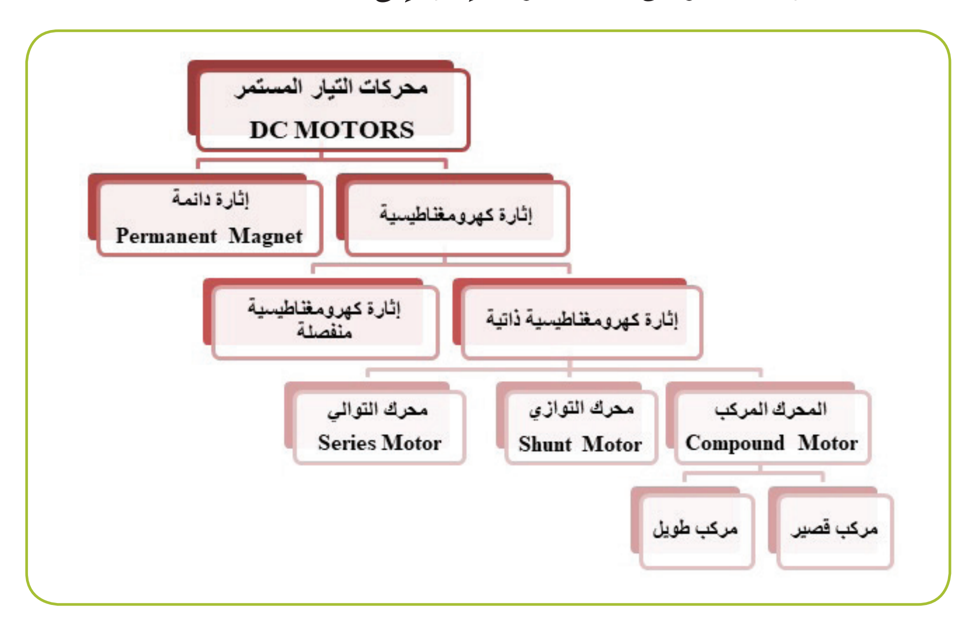
شكل (7): اللَّوحة الاسميّة لآلة تيّار مستمرّ

ثانياً- طرق الإثارة/ التغذية في آلات التيّار المستمرّ:

الإثارة في آلات التيّار المستمرّ هي آليّة توليد التدفق المغناطيسيّ اللازم لعمل الآلة، حيث إنَّ مرور تيّار كهربائيّ في الموصلات الواقعة تحت تأثير المجال المغناطيسيّ يجعلها تتأثر بقوة كهربائيّة تعتمد على كثافة التدفق المغناطيسيّ، وطول ذلك الموصل، ومقدار التيّار الكهربائيّ المارّ فيها.

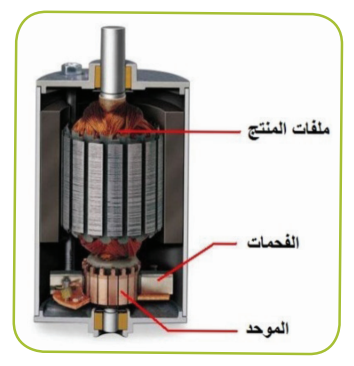
وحيث إنَّ طريقة توصيل كلّ من ملفّات المجال وملفّات المنتج بعضها مع بعض تؤثر في مقدار التيّار المارّ في موصلات كلّ منها، وبالتالي في مقدار التدفق المغناطيسيّ المتولد منها ومقدار سرعتها وعزم دورانها، لذلك فإنّ اختيار آلة التيّار المستمرّ حسب نوع الإثارة يؤثر في خصائص تلك الآلة.

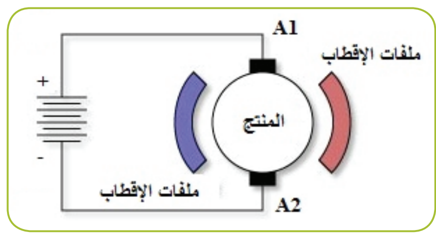
ولقد تمَّ تصنيف آلات التيّار المستمرّ من حيث طرق الإثارة إلى:



1- محرّكات تيّار مستمرّ ذو إثارة دائمة (مغناطيس دائم) (Permanent Magnet DC Motor):

- أقطاب هذا المحرّك عبارة عن مغناطيس دائم مصنوع من الصلب، يحتفظ بمغناطيسيّته زمناً طويلاً.
- يتميز محرّك المغناطيس الدائم (PM Motor) بأنه أخف وزناً وأصغر حجماً من محرّكات التيّار المستمرّ الأخرى المكافئة، لأن قوة المجال للمغناطيسيّات الدائمة عالية.
- عزم هذا المحرّك متناسباً خطياً مع الحمل (تيّار المنتج).
- سرعة المحرّك ثابتة تقريباً مع الحمل، كما في محرّك التوازي.
- محرّك الـ (PM) يكون مثالياً في تطبيقات تحكم الكمبيوتر بسب خطية العلاقة بين عزمه وسرعته.
- يمكن التحكّم بسرعته عن طريق توصيل مقاومة متغيّرة على التوالي مع دائرة المنتج.
- يمكن عكس حركة محرّكات الـ (PM) بسهولة عن طريق تحويل قطبيّة الجهد المسلط على المحرّك، لأن أيّاً من التيّار أو المجال يغيّر اتجاه حركة المحرّك، كما في الشكل (8).



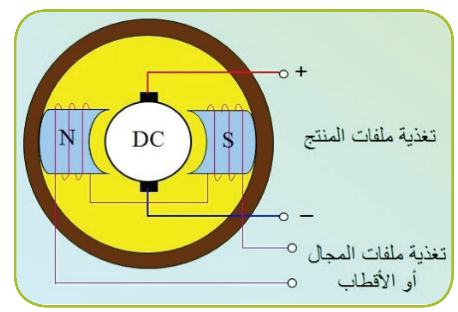
شكل (8): محرّك تيّار مستمرّ ذو إثارة دائمة (مغناطيس دائم)

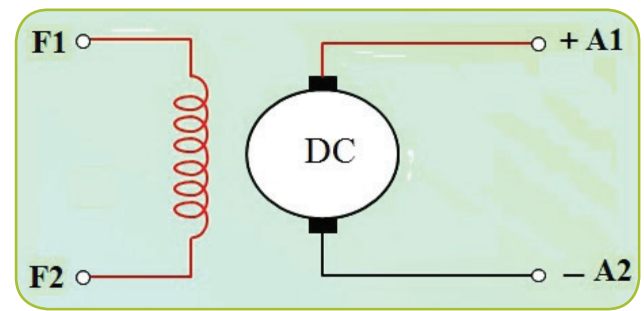
2- إثارة كهرومغناطيسيّة: حيث تنتج الإثارة في آلة التيّار المستمرّ من سريان التيّار الكهربائيّ في ملفّ؛ مما يولد مجالاً مغناطيسيّاً (مغناطيساً كهربائيّاً) حول موصلات الملفات، وهي على نوعين هما:

- إثارة كهرومغناطيسيّة منفصلة (Separately Excited)
- إثارة كهرومغناطيسيّة ذاتية (Self Excited)

أ- محرّكات التيّار المستمرّ ذات التغذية المنفصلة (Separately Excited DC Motors):

يُبيِّن الشكل (9) محرّك تيّار مستمرّ يعمل بفعل الإثارة الكهرومغناطيسيّة، ويجب أن يتوفر في هذه الحالة مصدرا تغذية مستمرّان ومنفصلان ليغذي أحدهما ملفّات المنتج، في حين يغذي الآخر ملفّات المجال، وهو يشبه تماماً محرّكات التوازي.

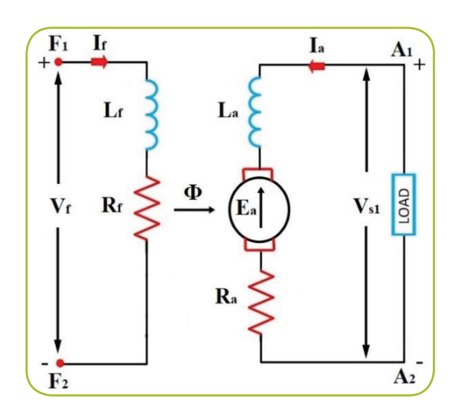




شكل (9): مصادر التغذية لمحرّك تيّار مستمرّ ذي إثارة كهرومغناطيسيّة منفصلة

ويُبيِّن الشكل (10) الدائرة المكافئة لمحرّك تيّار مستمرّ ذي تغذية منفصلة، وبما أن كلّ ملفّ يمتلك عادة مقاومة خاصّة به، فقد سميت كلّ مقاومة ملفّ باسمه، واتخذت كذلك نفس الحرف الدال على نوعيّة ملفه؛ لتدلّ على كلّ من ملفّات المجال وملفّات المنتج، سواء لمحرّك تيّار مستمرّ أو لمولد، وهي كالآتي:

- **ملفّات المنتج (Armature):** A1, A2
- **ملفّات المجال/التوازي (Feild):** E1 (F1), E2 (F2)
- **ملفّات التوالي (Series):** D1 (S1), D2 (S2), D3 (S3)



شكل (10): الدائرة المكافئة لمحرّك تيّار مستمرّ ذي إثارة منفصلة

ومن المهم مراعاة توصيل ملفّات المجال (F1, F2) بالمصدر أولاً، ثم توصيل ملفّات المنتج (A1, A2) في حالة التشغيل كمحرّك كهربائيّ، أما في حالة إيقافه فيجب فصل جهد المنتج أولاً، ثم فصل جهد الإثارة.

وفي حالة تشغيل الآلة كمولد تيّار مستمرّ فيتم تغذية ملفّات المجال بمصدر تيّار مستمرّ منفصل (بطّاريّة مثلاً)، ويتمّ أخذ التيّار المستمرّ من أطراف ملفّات المنتج (A1, A2) لتغذي حملاً كهربائيّاً.

ملاحظة: يختلف محرّك التيّار المستمرّ عن مولد التيّار المستمرّ فقط في اتجاه مرور التيّار الكهربائيّ في ملفّات الآلة، حيث إنَّه عندما تعمل الآلة كمحرّك، فإنّه يتمّ إعطاؤها طاقة كهربائيّة، بينما يتمّ إعطاء الآلة طاقة حركية عندما تعمل كمولد لكي تعطي طاقة كهربائيّة.

- **استخدامات محرّك التغذية المنفصلة:**
  - » في الحالات الَّتي تحتاج إلى سرعة ثابتة تقريباً، مثل آلات الورش كالمخارط والمقاشط.
  - » آلات الغزل والنسيج، حيث يستفاد بمنظّم السرعة لضبط سرعة دوران المحرّك عند قيم مختلفة عند اللاحمل، ثم تهبط هذه السرعات هبوطاً طفيفاً مع الحمل.
  - » ماكينات صناعة الورق والأخشاب والمِضخّات والدرفلة.

ب- محرّكات التيّار المستمرّ ذوات التغذية الذّاتيّة (Self Excited DC Motors):

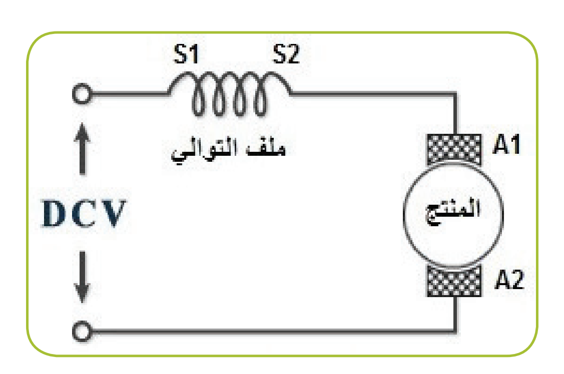
حيث يعتمد فيها محرّك التيّار المستمرّ في إثارته على ما يُسمّى بالمغناطيسيّة المتبقية في ملفّات المجال (العضو الثابت) والجهد المتولد فيها، الذي قد لا يتعدى فولتا واحداً أو اثنين (حيث يتمّ عادة تزويد المحرّك بها في المصنع قبل الشحن)، وهذا الجهد هو الذي يدفع بتيّار صغير خلال ملفّات المجال، وفي الاتجاه المناسب لتقوية الفيض المغناطيسيّ المتبقي، وبالتالي القوة الدافعة الكهربائيّة العكسيّة، وعند التشغيل يرفع من قيمته تدريجياً، وتستمر العمليّة حتى تصل إلى مرحلة الاستقرار. وهنا لا بد من الإشارة إلى أنه من الممكن أن لا تعمل آلة تيّار مستمرّ ذات الإثارة الذّاتيّة، التي تمَّ توصيلها لأول مرة مع مصدر جهد مستمرّ، وهذا يعود إلى عِدّة أسباب منها:

- بسبب أنها آلة جديدة توصل لأول مرة (قد لا تحتوي على مغناطيسيّة متبقية)؛ لذلك يجب أن يتمّ أولاً فصل ملفّات المجال عن ملفّات المنتج، ومن ثم توصيلها مع مصدر إثارة خارجيّ (كبطّاريّة مثلاً) لتوليد المغناطيسيّة المتبقية في ملفّات المجال اللازمة للاستثارة الذّاتيّة للآلة.
- من الممكن أن الفيض المغناطيسيّ المتبقي يعاكس المجال المغناطيسيّ المتولد في ملفّات المنتج؛ مما يمنع البناء التدريجي للقوة الدافعة الكهربائيّة في ملفّات المنتج، ويمكن حل هذه المشكلة عن طريق عكس اتجاه دوران المحرّك.

ويتم تقسيم محرّكات التيّار المستمرّ ذات التغذية الذّاتيّة حسب طريقة توصيل ملفّات المجال والمنتج إلى الانواع الآتية.

1. محرّك التوالي (Series Motor):

- توصل ملفّات المجال (ملفّات التوالي) وملفّات المنتج على التوالي بعضها مع بعض، كما في الشكل (11). ونتيجة لذلك يسري التيّار نفسه المسحوب من المصدر في كلّ منهما، ويكون استهلاكه للتيّار أكبر ما يمكن عند بدء الحركة؛ وهذا ما يجعل هذا المحرّك يتمتع بميزة عزم البدء العالي.
- أسلاك ملفّات المجال ذات مساحة مقطع سلك كبير وعدد لفّات قليل؛ وذلك لكي يمرّ معظم التيّار في كلّ من ملفّات المجال وملفّات المنتج.
- مقاومة ملفّات المجال صغيرة جدّاً، وهي أقل من مقاومة ملفّات المنتج؛ وذلك لأن جهد المصدر يتوزع بينهما.



شكل (11): محرّك تيّار مستمرّ من نوع توالي

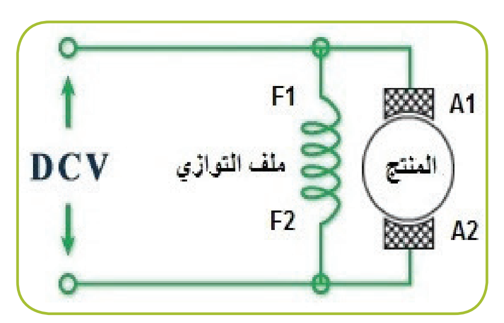
- **استخدامات محرّك التوالي:**

» هذا المحرّك مناسب للأحمال الَّتي تحتاج إلى عزم بدء عالٍ، كما في آلات الجر الكهربائيّ، مثل القطار الخفيف، والرافعات.

» يكثر استخدامه كمحرّك تيّار مستمرّ ذي سرعة متغيّرة مع الحمل.

2. محرّك التوازي (Shunt Motor):

- حيث توصل ملفّات المجال (ملفّات التوازي) على التوازي مع ملفّات المنتج، ومن ثم تتصل معاً بجهد المصدر (V_s).
- أسلاك ملفّات المجال ذات مساحة مقطع سلك صغير وعدد لفّات كثيرة (حتى يمرّ معظم التيّار في ملفّات المنتج).
- مقاومة ملفّات المجال أكبر من مقاومة ملفّات المنتج (مقاومة أوميّة كبيرة جدّاً)؛ وذلك لأن جهد المصدر مطبق عليها بالكامل، وهذا بالتالي يزود المنتج بتيّار كبير مقارنة بتيّار المجال؛ مما يجعل المحرّك يتمتع بسرعة ثابتة تقريباً مع تغيّر الحمل، كما في الشكل (12).



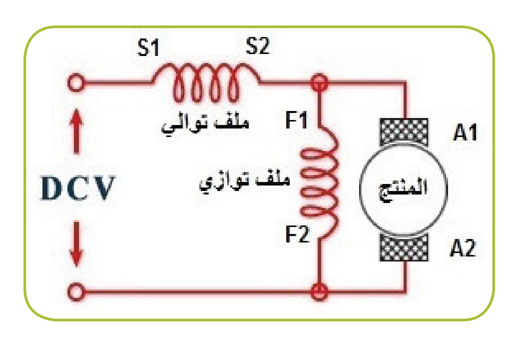
شكل (12): محرّك تيّار مستمرّ من نوع توازٍ

- **استخدامات محرّك التوازي:**

يستخدم في الحالات الَّتي تتطلب سرعات ثابتة مثل إدارة الطلمبات، والمراوح، والدرافيل، وآلات الورش: كالمخارط، والمقاشط، وآلات الغزل والنسيج.

3. المحرّك المركب (DC Compound Motor):

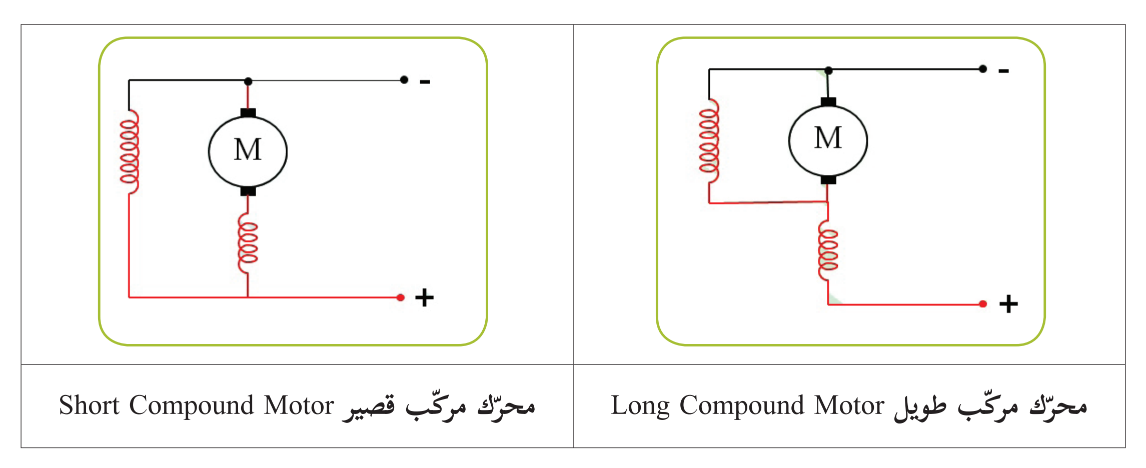
المحرّك المركب هو أساساً محرّك توازٍ أضيفت له ملفّات توالٍ على الأقطاب؛ وذلك لتأخذ بعضاً من مميزات محرّك التوالي (مثل الاستقرار في السرعة وعزم البدء العالي). والفكرة هنا هي أن وجود هذه الملفّات يؤدّي إلى مرور تيّار بها في اتجاه معين ينتج عنه مجال مغناطيسيّ، يؤثر على المجال المغناطيسيّ لملفّات التوازي؛ مما يجعل المحرّك يكتسب خصائص معينة للسرعة والعزم، كما في الشكل (13).



شكل (13): محرّك تيّار مستمرّ من نوع مركب

ويوجد منه نوعان حسب توصيل كلٍّ من ملفّات التوازي والتوالي، كما في الشكل **(14)**.

- محرّك مركّب طويل - Long Compound Motor.
- محرّك مركّب قصير - Short Compound Motor.



شكل (14): أنواع المحرّك المركب

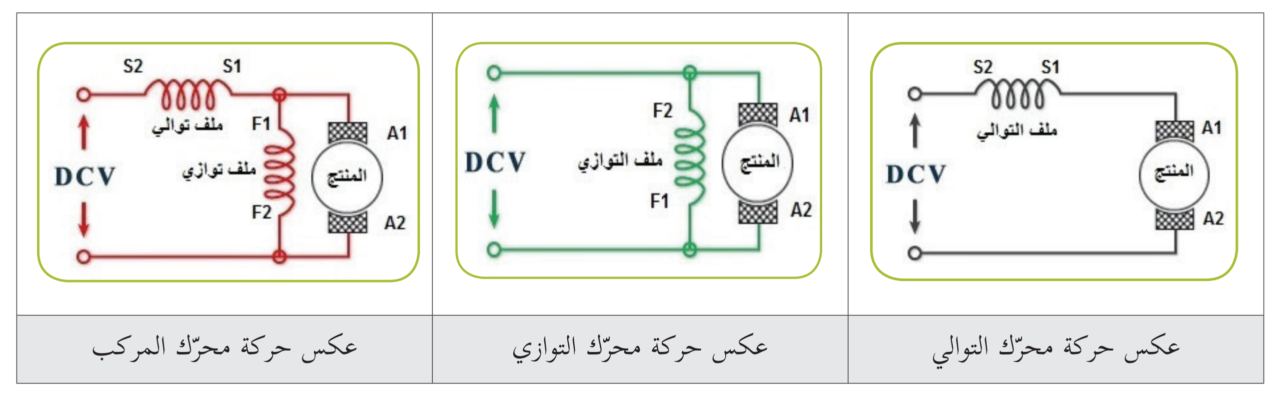
- **استخدامات المحرّك المركب:**

يستخدم في الحالات الَّتي تتطلب سرعة ثابتة وعزم بدء قوي وذات أحمال فجائية مثل آلات الدرفلة وتكسير الحجارة وطلمبات الكابسة، وآلات القص والثقب والعصر والدرفلة.

ملاحظة: يمكن الحصول على مصدر تيّار مستمرّ لتشغيل المحرّكات عن طريق مصدر جهد تيّار مستمرّ مناسب لقدرة المحرّك، أو توفير قنطرة أحاديّة الطور كاملة مع دائرة ترشيح بالاستعانة بالمدرّب.

ثالثاً- عكس حركة محرّكات التيّار المستمرّ:

بعكس اتجاه تيّار ملفّات المجال مع ثبات اتجاه تيّار ملفّات المنتج أو العكس، كما في الشكل (15).



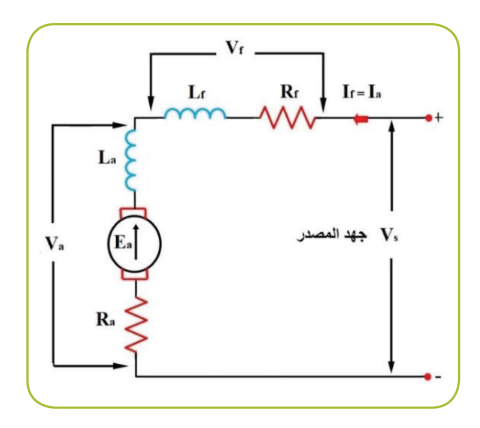
شكل (15): عكس حركة محرّكات التيّار المستمرّ

رابعاً- خصائص محرّكات التيّار المستمرّ:

يمكن الحصول على خصائص محرّكات التيّار المستمرّ، وذلك اعتماداً على الدائرة المكافئة للمحرّكات.

1- محرّك التوالي:

حيث يوضّح الشكل (16) الدائرة المكافئة لمحرّك تيّار مستمرّ نوع توالٍ، ومعادلة السرعة تعطى بالمعادلة الآتية:



شكل (16): الدائرة المكافئة لمحرّك تيّار مستمرّ نوع توالٍ

$$\omega = \frac{E_a}{K_a \Phi} = \frac{V_s - I_a (R_a + R_f)}{K_a \Phi}$$

$$\mathbf{N} = \frac{\omega \times 60}{2\pi}$$

حيث إنَّ:

V_s	جهد المصدر (DC)
I_a	تيّار المنتج بالأمبير (A)
R_a	مقاومة ملفّات المنتج بالأوم (Ω)
R_f	مقاومة ملفّات المجال بالأوم (Ω)
K_a	ثابت المحرّك
Φ	الفيض المغناطيسيّ لملفّات المجال
ω	سرعة العضو الدّوّار (راديان/ثانية) أو (rad) ووحدتها (دورة/دقيقة - rpm)

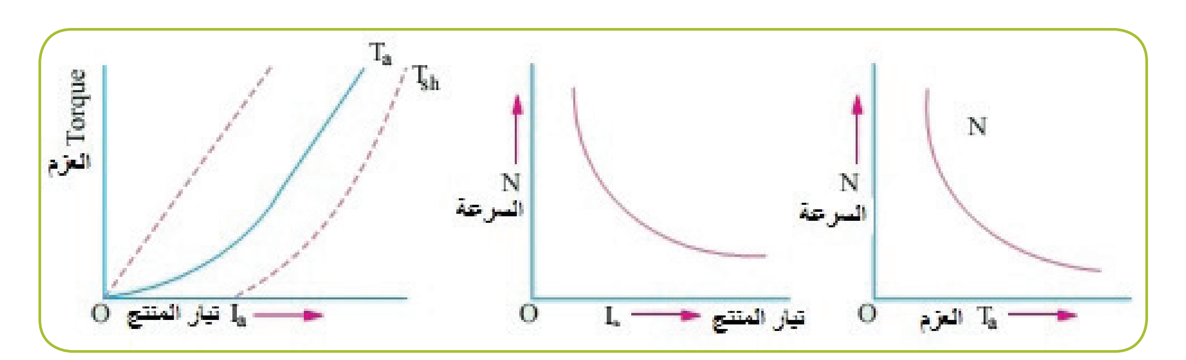
حيث تبين هذه المعادلة أن سرعة محرّك التيّار المستمرّ نوع توالٍ تتناسب طردياً مع جهد المصدر (V_s)، وعكسيّاً مع الفيض المغناطيسيّ (Φ) المنتج من التيّار المارّ في ملفّات المجال. وكذلك فإنّ العزم ورمزه (T) ووحدته (N.m) يعطى بالمعادلة:

$$T = Ka\ \Phi\ I_a$$

وحيث إنَّ الفيض المغناطيسيّ يتناسب طردياً مع تيّار المجال (وهو في حالة محرّك التوالي مساوٍ لتيّار المنتج $\Phi = I_a$) لذلك فإن:

$$T = Ka\ I_a^2$$

- **خصائص محرّك التوالي:**
   » عزم البدء كبير جدّاً ويتناسب طردياً مع مربع تيّار المنتج.
   » سرعته تقل كلما زاد تيّار الحمل (تيّار المنتج) وتزيد كلما قل.
   » تتخطّى سرعته السرعة المقنّنة عند اللاحمل، لذلك يجب عدم دورانه من دون حمل حتى لا يتعرض للتلف، كما لا يجوز دوران هذا المحرّك، وتحميله بواسطة السيور؛ خوفاً من قطعها، أو انزلاقها؛ فتزيد السرعة، وتسبب تلف المحرّك، كما في شكل (17).

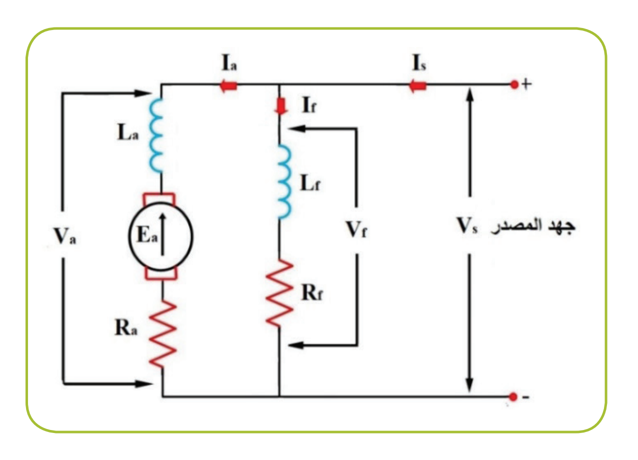


شكل (17): منحنيات خصائص التشغيل لمحرّك التوالي

2- محرّك التوازي:

يوضح الشكل (18) الدائرة المكافئة لمحرّك تيّار مستمرّ نوع توازٍ (أو ذي الإثارة المنفصلة) ومعادلة السرعة تعطى بالمعادلة الآتية:

$$\omega = \frac{E_a}{K_a \Phi} = \frac{V_s - I_a (I_a + R_a)}{K_a \Phi}$$



الشكل (18): الدائرة المكافئة لمحرّك تيّار مستمرّ نوع توازٍ

وكذلك فإنّ العزم ورمزه (T)، ووحدته (N.m) يعطى بالمعادلة:

$$T = \frac{E_a \times I_a}{\omega}$$

- **خصائص محرّك التوازي:**

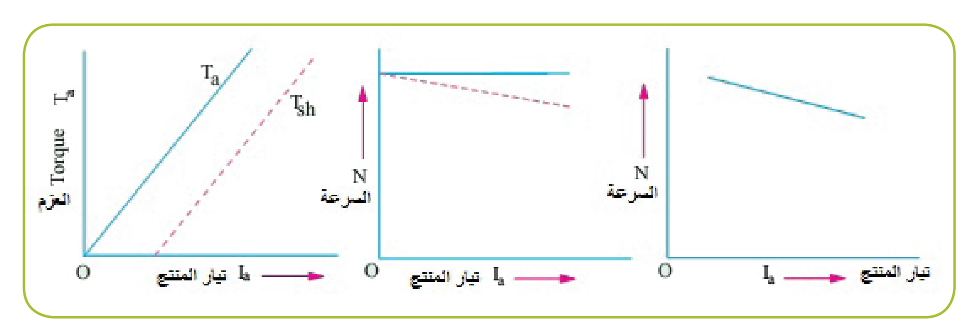
يشبه محرّك التوازي محرّك الإثارة المنفصلة لآلة التيّار المستمرّ من ناحية خصائص كلّ منهما؛ لذلك يمكن استعمال أيّ منهما لتطبيقات الآخر، إلا أنه يتميز عن المحرّك ذي الإثارة المنفصلة في أن ملفّات المجال لا تحتاج إلى مصدر خارجيّ لتغذيتها، وإنما يستعاض عن ذلك بما يُسمّى المغناطيسيّة المتبقية في المحرّك.

ومن دراسة منحنيات خصائص التشغيل لمحرّك التوازي نستنتج خصائص محرّك التوازي، كما في شكل (19):

» يعطي عزم دوران ضعيفاً عند بدء الحركة، ثم يزداد بزيادة السرعة؛ ولذلك يجب عدم تحميله قبل أن يصل لسرعته المعتادة، (يتناسب العزم طردياً مع تيّار المنتج عند ثبوت الفيض المغناطيسيّ (تيّار المجال)).

» سرعة دورانه ثابتة تقريباً لجميع الأحمال.

» لا يتخطّى السرعة عند الدوران من دون حمل.



شكل (19): منحنيات خصائص التشغيل لمحرّك التوازي

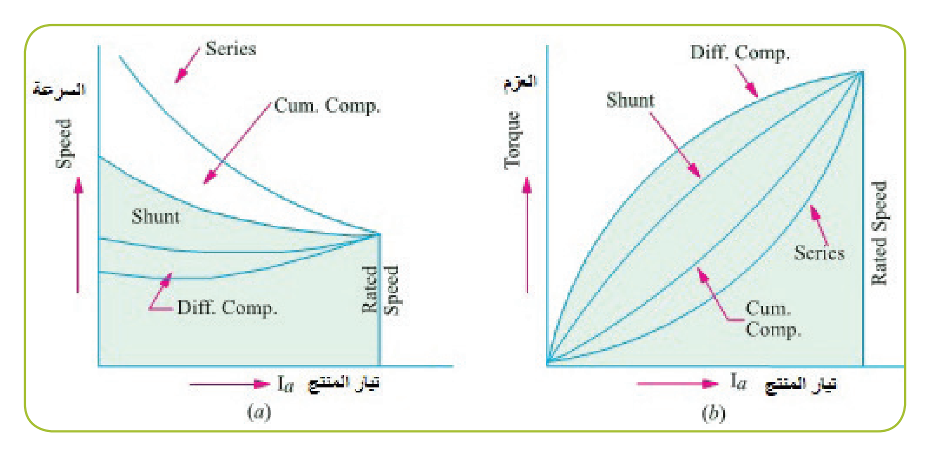
- **خصائص المحرّك المركب:**

ومن دراسة منحنيات خصائص التشغيل للمحرّك بين تيّار الحمل (المنتج) والعزم، وتيّار الحمل (المنتج) والسرعة، كما في شكل (20)، ومعادلات السرعة والعزم، نستنتج خصائص المحرّك المركب، وهي:

» له عزم دوران قوي عند بدء الحركة.

» سرعته ثابتة تقريباً مهما تغيّر الحمل.

» يمكن تحميله فوق الحمل الكامل له.



شكل (20): منحنيات خصائص التشغيل لمحرّك المركب

خامساً- التحكّم في سرعة محرّكات التيّار المستمرّ:

بالرجوع إلى معادلة السرعة لمحرّكات التيّار المستمرّ نجد أنه يمكن تغيير سرعة محرّك التيّار بإحدى الطرق الآتية:

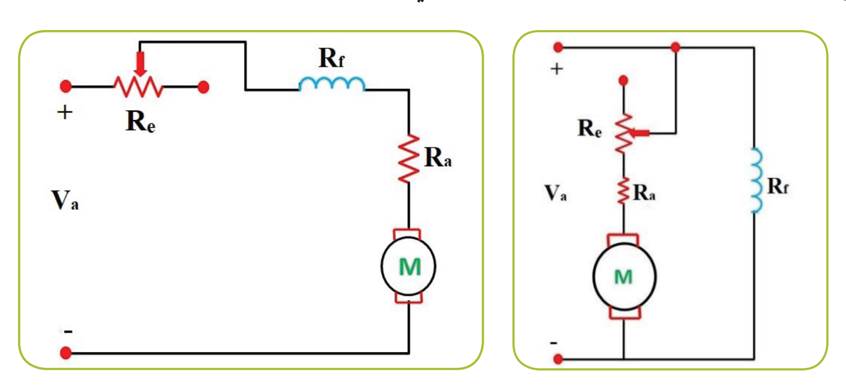
$$\omega = \frac{E_a}{K_a \Phi} = \frac{V_s - I_a R_a}{K_a \Phi}$$

1- تغيّر سرعة محرّك تيّار مستمرّ باستخدام نواقل السرعة الميكانيكيّة.

2- تغيير جهد المصدر (التحكّم بجهد المنتج) (V_S)، (العلاقة طردية بين الجهد وسرعة المحرّك):

وذلك عن طريق توصيل جهد مستمرّ متغيّر يمكن الحصول عليه من مولد جهد مستمرّ، أو من دارات إلكترونيّة مثل الموحّدات المحكومة وغيرها، وحيث إنَّه لا يمكن زيادة جهد المصدر عن الجهد المقرر للمنتج، فإنّ هذه الطريقة تستخدم لتقليل سرعة المحرّك عن السرعة الاسميّة للمحرّك، ويكون عزم المحرّك ثابتاً في مدى تغيير السرعة من الصفر إلى السرعة الاسميّة، بينما تتغيّر قدرة المحرّك تبعاً لسرعته.

3- تغيير مقاومة المنتج (R_a)، (العلاقة عكسيّة بين المقاومة وسرعة المحرّك).
توصل مقاومة متغيّرة على التوالي (R_e) مع ملفّات المنتج للتحكم في جهد عضو الإنتاج (تقليل الجهد المستمرّ) في محرّكات التيّار المستمرّ من نوع توالٍ وتوازٍ، حيث عند توصيل مصدر الجهد ومرور التيّار في المنتج فإنّ هبوط الجهد على طرفي المقاومة يؤدّي إلى هبوط الجهد الواصل على طرفي المنتج، وبالتالي تقل سرعة دوران المحرّك بزيادة قيمة المقاومة. وهذه الطريقة تسبّب فقداً في القدرة الكهربية وسخونة المقاومة.
لهذه المقاومة وظيفة أخرى، وهي التخفيض من تيّار الإقلاع الذي يكون مرتفعاً جدّاً في حالة البدء؛ مما يسبب احتراق ملفّات عضو الإنتاج حتى ولو مرّ فيها لثوانٍ بسيطة، كما في الشكل (21).

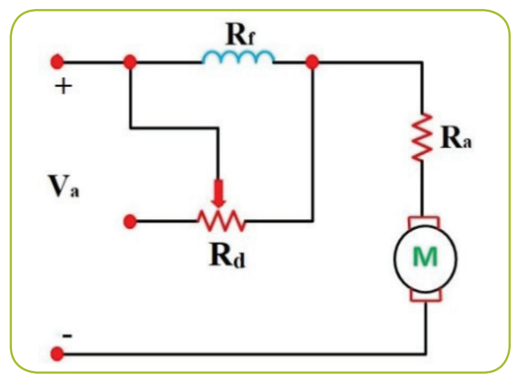


شكل (21): التحكّم في سرعة محرّكات التيّار المستمرّ عن طريق تغيير مقاومة المنتج

4- تغيير الفيض المغناطيسيّ (Φ) وذلك بتغيير تيّار المجال (علاقة عكسيّة).

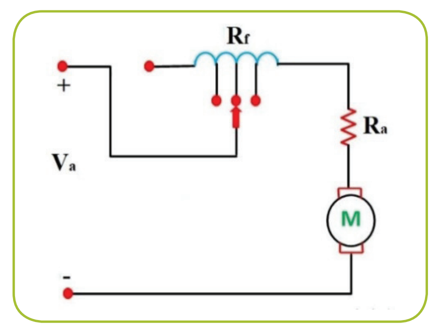
أ- محرّك التوالي:

- **طريق مقاومة مجزأة للمجال**، (العلاقة عكسيّة بين المقاومة وسرعة المحرّك): حيث يتمّ توصيل مقاومة متغيّرة (R_d) على التوازي مع ملفّات المجال (وتسمى إضعاف تيّار المجال، أو خفض التدفق المغناطيسيّ)، حيث كلما زدنا من قيمة هذه المقاومة سيرتفع التيّار المارّ في ملفّات المجال؛ مما يسبب في رفع الفيض، وبالتالي التخفيض في سرعة المحرّك)، وتُعَدّ هذه الطريقة هي الطريقة الرئيسية للتحكم في سرعة المحرّك، إلا أنها على حساب عزم دوران المحرّك، كما في الشكل (22).



شكل (22): التحكّم في سرعة محرّكات التيّار المستمرّ من نوع توالٍ عن طريق مقاومة مجزأة للمجال

- **تقسيم ملفّات المجال:** في هذه الطريقة يكون ملفّ المجال مقسماً عِدّة أقسام، وبالتالي يمكن الحصول على فيض مغناطيسيّ كامل، أو جزء منه عن طريق مفتاح متعدِّد الأوضاع، كما في الشكل (23).

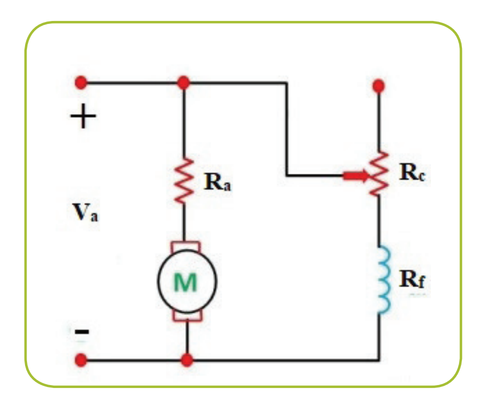


شكل (23): التحكّم في سرعة محرّكات التيّار المستمرّ من نوع توالي عن طريق تقسيم ملفّات المجال

ب- محرّك التوازي (أو ذو الإثارة المنفصلة):

توصيل مقاومة متغيّرة (R_c) على التوالي مع ملفّات المجال، للتحكم في التدفق المغناطيسيّ.

عند توصيل هذه المقاومة فإنّ تيّار المجال سوف يقلّ؛ مما يسبب خفض قيمة الفيض المغناطيسيّ، وبالتالي فإنّ سرعة المحرّك سوف ترتفع، كما في الشكل (24).



شكل (24): التحكّم في سرعة محرّكات التيّار المستمرّ من نوع توازٍ عن طريق توصيل مقاومة متغيّرة (R_c) على التوالي مع ملفّات المجال

إن الطرق السابقة ليست هي الأمثل للتحكم بسرعة محرّكات التيّار المستمرّ؛ وذلك لأن لها مساوئ كثيرة تتعلق بتغيّر خصائص المحرّك الأساسيّة، كالتقليل إما من قدرة المحرّك، أو من عزم دورانه، لذلك لا بد من استخدام طريقة أخرى للتحكم بسرعة محرّكات التيّار المستمرّ، ألا وهي التحكّم الإلكترونيّ بمحرّكات التيّار المستمرّ، التي سيتم مناقشتها بوحدة خاصّة لاحقاً.

نشاط: ارسم دائرة كهربائيّة تبين كيف يتمّ توفير مصدر جهد تيّار مستمرّ مكون من قنطرة أحاديّة الطور ودائرة ترشيح مناسبة لقدرات محرّكات التيّار المستمرّ المتوفرة في مشغلك، ثم ناقش هذه المكوّنات مع مدربك وزملائك، ثم استعن بالشبكة العنكبوتية للتعرف على مقرّرات مصادر تيّار مستمرّ متوفرة في الأسواق، وحدد مواصفاتها.

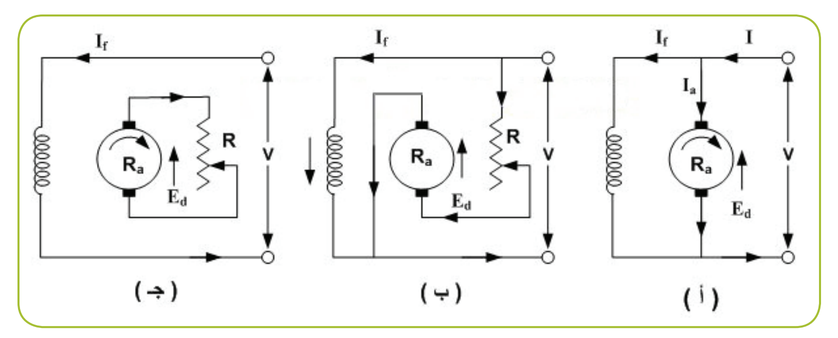
سادساً- إيقاف المحرّك:

عند إطفاء المحرّك بفصل جهد المصدر عن المحرّك سيبدأ المحرّك بالتباطؤ، وتتناقص سرعته، إلى أن تصل إلى الصفر، ويُسمّى الزمن اللازم حتى يتوقف المحرّك تماماً بزمن الإيقاف، وقد يصل حتى (20 ثانية) أو أقل، ويعتمد ذلك على عزم القصور الذّاتيّ للمنتج والمفاقيد الداخليّة. ولإيقاف المحرّك بشكل سريع يؤثر على المحرّك عزم كبح عالٍ لإيقافه، ومن الطرق المستخدمة:

1- إيقاف بشكل عادي: ويتم الإيقاف دون أيّ إضافة لمقاومة، وهو سوف يقف بفضل عزم القصور الذّاتيّ للأجزاء الدوارة فيه، ويحتاج لوقت حتى الإيقاف التام، كما في الشكل (25 - أ).

2- عكس أطراف ملفّات المنتج: يتم فصل مصدر الجهد عن المحرّك، ثم عكس أطراف ملفّات المنتج، وإضافة مقاومة متغيّرة توصل على التوالي مع المنتج، فينتج عزم كبح عالٍ، حيث بعكس أطراف المنتج سيؤدّي لعكس اتجاه الدوران عن الاتجاه الأصليّ؛ مما يبطئ من دوران المنتج بشكل كبير، كما في الشكل (25 - ب).

3- الكبح الديناميكي: تعتمد هذه الطريقة على فصل مصدر الجهد عن المحرّك، وفصل أطراف المنتج، ووصل مقاومة كبح صغيرة على طرفي المنتج للاستفادة من القوة الدافعة العكسيّة في المنتج،وسريان التيّار إلى المقاومة، والوصول السريع لقيمة الصفر للقوة الدافعة الكهربائيّة المتولدة، كما في الشكل (25 - جـ).



شكل (25): إيقاف المحرّك

سابعاً- محرّكات التيّار المستمرّ من دون فُرَش كربونية (Brushless DC Motor):

- محرّكات التيّار المستمرّ لها فوائد عديدة منها عزم البداية العالي، والتحكّم السلس في السرعة بطرق بسيطة، لكن عيبها الوحيد هو الفُرَش أو الفحمات مع الموحد، الذي يحتاج إلى صيانه بشكل دوري، ولقد تمَّ التغلب على هذه المشاكل باستعمال إلكترونيّات القوى، وابتكار ما يُسمّى محرّك تيّار مستمرّ من دون فحمات، وتعدّ هذه المحرّكات من المحرّكات الحديثة الرائدة في الآلات الدقيقة الآليّة؛ أيّ الَّتي تعمل بواسطة التحكّم دون تدخل الإنسان كالطابعات وآلات التصوير والحاسوب.

- يتكوّن هذا المحرّك من ثلاث أجزاء، كما في الشكل (26):
1. **عضو دوار (Rotor):** وهو عبارة عن مغناطيس دائم.
2. **عضو ثابت (Stator):** وهو يتكوّن من (3) ملفّات داخلية؛ ولذلك يحتوي على (3) أسلاك دخل.
3. **حسّاسات هول (Hall Sensor):** لتحديد موقع العضو الدّوّار لإرسال النبضة إلى الملفّ المطلوب.

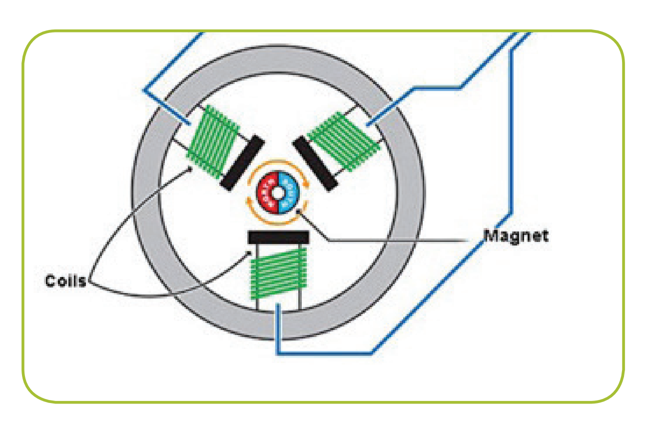




شكل (26): تركيب محرّك التيّار المستمرّ من دون فرش كربونية

وحسب تصميم المحرّك فإنّ العضو الدّوّار يمكن أن يكون مثبتاً على الغطاء الخارجيّ والمجال الدّوّار بالعضو الثابت. وهو يستخدم مغناطيساً دائماً للمجال المغناطيسى، ولكن بدلاً من دوران ملفّ عضو الإنتاج (كنتيجة للمجال المغناطيسى للمغناطيس) فإنّ المغناطيس الدائم هو الذى يدور داخل ملفّ ثابت.

- يتم وصل ملفّات العضو الثابت بوحدة التحكّم الإلكترونيّة (عوضت دائرة التحكّم الإلكترونيّة وظيفة الموحد بتحويل التيّار المستمرّ، وتنشيط حث الملفّات استجابة لتقارب حسّاسات الَّتي يتمّ إشعالها بمجرد دوران عمود الدوران) لتزويد هذه الملفّات بالتيّار المستمرّ النبضي، فيتكوّن مجال مغناطيسيّ يتفاعل مع المجال المغناطيسيّ للعضو الدوار، فيشكل تدفقاً مغناطيسيّاً دواراً دافعاً العضو الدّوّار للدوران.
- يمكن بدء المحرّك وإيقافه بالتحكّم فى التيّار المارّ بالملفّ الثابت.
- عكس اتجاه الدوران صعب لأن عكس اتجاه التيّار ليس بهذه السهولة نتيجة للدوائر الإلكترونيّة التى تقوم بوظيفة التوحيد.
- يمكن التحكّم فى سرعة الدوران عن طريق دائرة إليكترونية (Electronic Speed Control - ESC) تقوم بتشكيل عرض النبضة (تقطيع الإشارة)، أيّ التحكّم في القيمة المتوسّطة للنبضات للجهد المستمرّ؛ لكي تقوم بتحجيم التيّار الذي يدخل إلى المحرّك، كما في الشكل (27).



شكل (27): دائرة محرّك التيّار المستمرّ من دون فرش كربونية

- **لوحة محرّك التيّار المستمرّ من دون فرش كربونية، كما في الشكل (28):**

» **(KV Kilo Per Volt):** وتعبر عن سرعة دوران المحرّك، وتعني (1000) لفة (1000RPM) لكل واحد فولت، أيّ إذا كان المحرّك (1000KV)، وكان جهد الدخل (10V) ستكون السرعة (10000RPM).

» **(Thrust):** وهو يعني أقصى حمل يستطيع المحرّك دورانه وهو محمل بهذا الوزن؛ بمعنى آخر يستطيع المحرّك الدوران بنفس الكفاءة مع هذا الحمل.



شكل (28): لوحة محرّك التيّار المستمرّ من دون فرش كربونية

5 - 2 الموقف التعليميّ الثاني: تشخيص أعطال محرّكات التيّار المستمرّ وإصلاحها

وصف الموقف التّعلّميّ:

حضر صاحب عربة نقل ذو الاحتياجات الخاصة إلى مؤسسة صيانة المصانع يشتكي من تعطل محرّك العربة ويريد من الفنّيّ المُختَصّ أن يفحص ويحدد سبب العطل، وتحديد مواصفات القطع الكهربائيّة التالفة لشرائها، ومن ثم استبدالها وإعادة تشغيل محرّك السيارة.

العمل الكامل:

خطوات العمل	وصف الموقف الصّفّيّ	المنهجيّة (إستراتيجيّة التّعلّم)	الموارد حسب الموقف الصّفّيّ
أجمع البيانات، وأُحللها	• أجمع البيانات من صاحب العربة عن طبيعة الخلل. • أجمع بيانات عن: - المحرّكات الكهربائيّة المستخدمة في السيارات الكهربائيّة وقدراتها وكيفيّة التحكّم بها وعكس دورانها. - الأعطال الأكثر شيوعاً في محرّكات التيّار المستمرّ وأنواعها (كهربائيّة/ ميكانيكيّة). - طرق فحص واستبدال الأجزاء الميكانيكيّة التالفة منها (بيل...).	• البحث العلميّ. • الحوار والمناقشة.	• وثائق (كتالوج). • الشبكة العنكبوتية.
أُخطّط، وأُقرّر	• أصنف البيانات وتبويبها. • أحدد الأدوات والعِدَد والأجهزة اللازمة للعمل. • أحدد خطوات العمل: - مقارنة قدرة المحرّك الكهربائيّ مع الأحمال الكهربائيّة المتّصلة به. - مراجعة مخطّط لوحة توصيل المحرّك مع اللّوحة الاسميّة للمحرّك. - فحص المحرّك كهربائيّاً وميكانيكاً. - اختيار الحساسيّة المناسبة للقاطع حسب قدرة المحرّك المستخدم وطبيعة الحمل المتصل به (صندوق تروس .....بكرة). • إعداد جدول زمنيّ للتنفيذ.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• قرطاسيّة. • وثائق. • نموذج الجدول الزمنيّ.

أُنفّذ	• استخدام أدوات السلامة المهنيّة وفقاً للمعايير الفنّيَّة وأنظمة السلامة ذات الصلة. • استخدام العِدَد والأدوات المناسبة لعمليّة الفكّ والتركيب والتثبيت. • فحص مصدر الجهد المغذّي. • فحص وسائل الحماية والوقاية الكهربائيّة وقدراتها الأمبيريَّة. • فحص ملفّات المحرّك للتأكُّد من صلاحيتها. • فحص أطراف توصيل المحرّك والكابلات المتَّصلة به.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ. • العصف الذهني.	• صندوق العِدّة. • القطع اللازمة لعمليّة التركيب والتشغيل والصيانة. • أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة.
أتحقَّق	• التّحقّق من السلامة والاحتياطات الَّتي تمَّ أخذها بعين الاعتبار أثناء فكّ المحرّك وتركيبه. • التّحقّق من تشغيل المحرّك حسب لوحة المحرّك الاسميّة. • التّحقّق من قيمة التيّار المسحوب من المحرّك أثناء العمل للتأكُّد من مطابقته لمواصفات المحرّك. • التّحقّق من جودة العمل.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة. • وثائق.
أُوَثّق، وأقدم	• إنشاء قوائم خاصّة بالعِدَد اليدويّة ووسائل القياس المستخدمة. • تحديد جدول زمنيّ للتسليم. • تسليم قوائم العمل لمسؤول الصيانة. • فتح ملفّ بالحالة.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• جهاز حاسوب. • جهاز عرض. • قرطاسيّة.
أُقوم	• رضا صاحب العربة بما يتفق مع طلبه. • المطابقة مع المواصفات والمعايير.	• الحوار والمناقشة. • البحث العلميّ.	• نماذج التقويم. • طلب الزبون.

الأسئلة:

5 ما الطريقة الصحيحة للقيام بحماية آلات التيّار المستمرّ، واختيار وسيلة الحماية المناسبة؟

6 ما أهم الأعطال الَّتي قد تحدث لمحرّك تيّار مستمرّ مع الشرح؟

7 ما الأجهزة الَّتي تساعد في فحص محرّك تيّار مستمرّ؟

أتعلّم:

تشخيص أعطال محرّكات التيّار المستمرّ وإصلاحها

نشاط: أحضر منتج محرّك تيّار مستمرّ صغير الحجم، وقم بإجراء الفحوصات عليه. ثم اكتب تقريراً عن نتيجة الفحص.

أولاً- الفحوصات اللازمة لتشخيص أعطال محرّكات التيّار المستمرّ:

من المهم إجراء الفحوصات لكل جزء من أجزاء الدائرة الكهربائيّة للمحرّك، والتي تشمل دارة ملفّات المجال وملفّات المنتج والموحد والفرش الكربونية (الفحمات)، إضافة إلى إجراء فحوصات التوصيلات على منتج آلة التيّار المستمرّ (العضو الدوار)؛ وذلك للتأكُّد من عدم وجود دارات قصر أو دارات مفتوحة، أو تماسات أرضية فيها، أو تلف في أحد حلقات الموحد. ويمكن إجراء هذه الفحوصات باتّباع الطرق المعروفة التي تستخدم الجهاز متعدد القياسات (DMM)، أو طريقة المصباح الكهربائيّ وجهاز الزوام الكهربائيّ (Electric Growler)، كما في الشكل (1)، الذي يتكوّن من قلب مصنوع من شرائح معزولة ومضغوطة بعضها فوق بعض على شكل حرف (V) مقصوص الجزء الأعلى منه لوضع المنتج بداخله ليتم فحصه، ويلف على قلبه ملفّ تغذى أطرافه بالتيّار المتناوب.



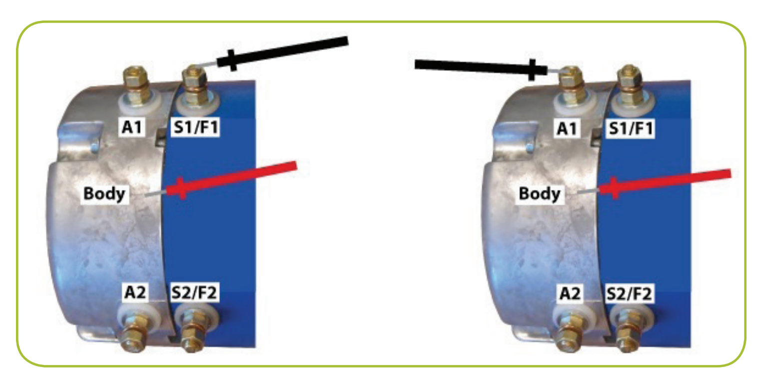
شكل (1): جهاز الزوام الكهربائيّ

وإن أهم الفحوصات اللازمة لفحص محرّك تيّار مستمرّ تشمل:

1- فحص ملفّات محرّك التيّار المستمرّ (المجال والمنتج): وذلك للتأكُّد من عدم وجود دارات قصر، أو تماس أرضي، وذلك باستخدام جهاز قياس المقاومة.

أ- فحص التماس بين ملفّات المجال (الأقطاب) والمنتج وهيكل المحرّك:

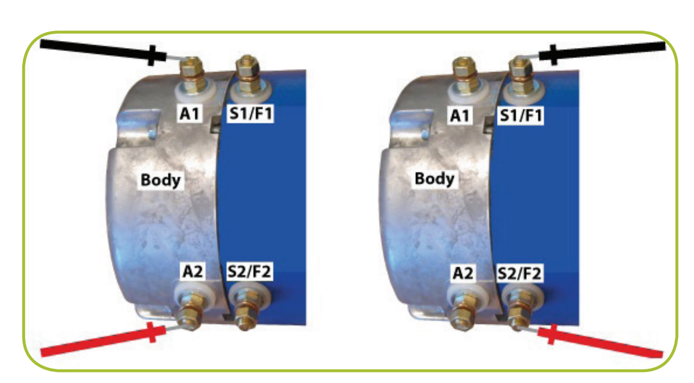
- صل أطراف جهاز القياس (DMM) بين نهايات ملفّات المجال (F1/F2) والمنتج (A1/A2) وهيكل المحرّك، يجب أن يقرأ مقاومة عالية (O.L)، وهذا يعني عدم وجود تماس بين ملفّات المجال والهيكل الحديديّ للمحرّك، كما في شكل (2).



شكل (2): فحص التماس بين ملفّات المجال والمنتج وهيكل المحرّك

ب- فحص استمرارية التوصيل في ملفّات المجال والمنتج لمحرّك التيّار المستمر:

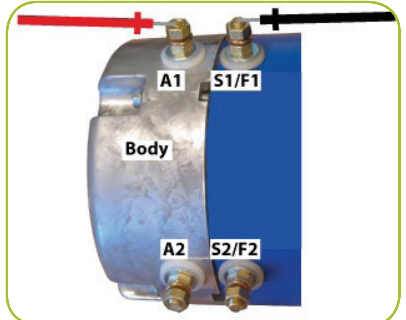
- افصل أطراف ملفّات المجال (F1/F2) والمنتج (A1/A2) لمحرّك التيّار المستمر، كما في شكل (3).
- صل أطراف جهاز القياس (DMM) بين كلّ طرفين من أطراف ملفّات المجال والمنتج، يجب أن يقرأ مقاومة منخفضة.



شكل (3): فحص استمرارية التوصيل في ملفّات المجال والمنتج محرّك التيّار المستمر

ج- فحص دارات القصر بين ملفّات المجال وملفّات المنتج لمحرّك التيّار المستمر:

- صل أطراف جهاز القياس (DMM) بين كلّ طرف من أطراف ملفّات المجال (F1/F2) مع طرف من ملفّات المنتج (A1/A2)، يجب أن يقرأ مقاومة عالية (O.L)، وهذا يعني عدم وجود قصر بين ملفّات المجال وملفّات المنتج، شكل (4).



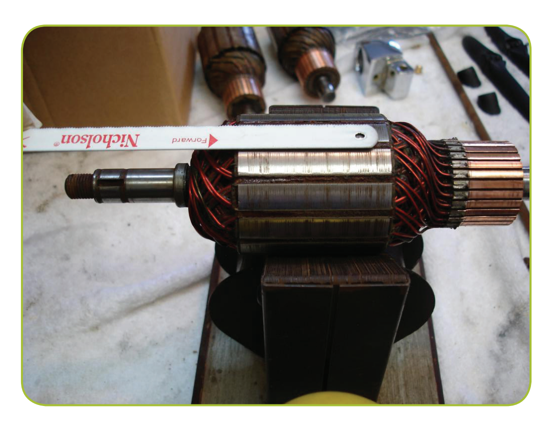
شكل (4): فحص دارات القصر بين ملفّات المجال وملفّات المنتج لمحرّك التيّار المستمر

2- فحص دارة القصر لمنتج محرّك التيّار المستمرّ:

ويستخدم جهاز الزوام الكهربائيّ لفحص دارة القصر بين ملفّات المنتج نفسها.

أ- طريقة الفحص:

- ضع المنتج المراد فحصه على الزوام الكهربائيّ.
- صل الزوام بمصدر الجهد المتناوب لتحصل على المجال المغناطيسيّ.
- ضع نصلة منشار يدوي على المجرى العلويّ، شكل (5).



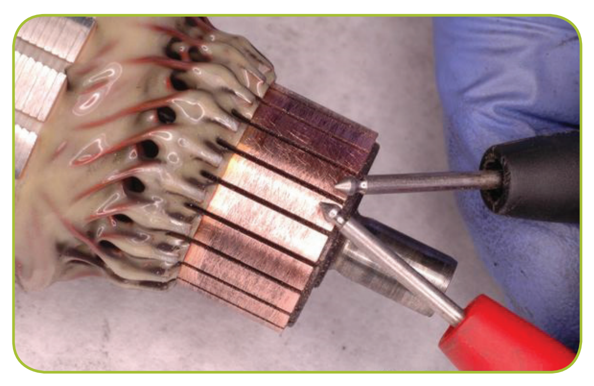
شكل (5): فحص دارة القصر لمنتج آلة التيّار المستمرّ

ب- دلالة نتائج فحص القصر بين ملفّات المنتج:

- إذا لم تهتز النصلة دل ذلك على عدم وجود قصر بين الملفات.
- اذا اهتزت نصلة المنشار دل ذلك على وجود قصر بين الملفات.
- حرك المنتج لتصبح هناك مجارٍ جديدة في الأعلى، اختبر بقية الملفّات بالطريقة نفسها.

3- فحص التماس بين حلقات الموحد لمحرّك تيّار مستمرّ:

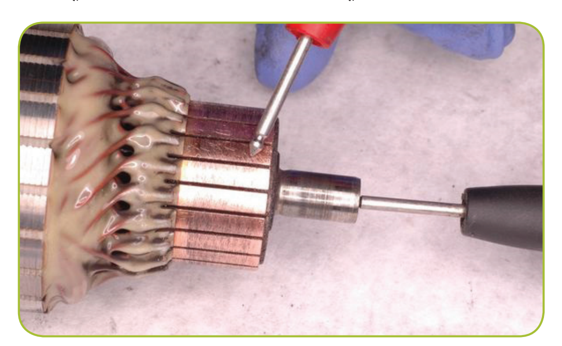
- يجب أن يتمّ التأكد من سلامة حلقات الموحد (النحاسات)، وأنها متصلة بعضها ببعض، وتعطي قيمة مقاومة ثابتة بين كلّ حلقتين، وإذا لم يكن هناك اتِّصال فيجب توصيل الطرف المفصول، كما في شكل (6).



شكل (6): فحص التماس بين حلقات الموحد لمحرّك تيّار مستمرّ

4- فحص التماس بين حلقات الموحد ومحور الدوران:

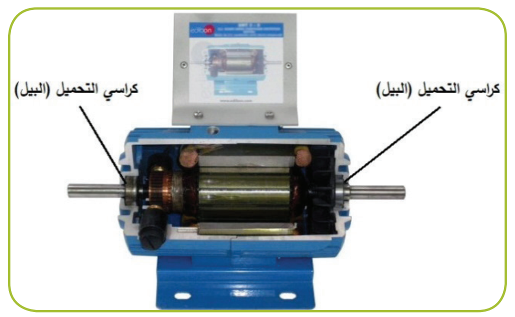
ويمكن استخدام هذا الفحص للتأكُّد من عدم وجود توصيل بين حلقات الموحد ومحور الدوران نتيجة خلل ما، ويستخدم جهاز قياس متعدد القياسات (DMM) لذلك (على إشارة الجرس)، كما يمكن استخدام مصباح كهربائيّ يعمل على جهد مستمرّ، أو استخدام الزوام الكهربائيّ المزود بمصباح، كما في الشكل (7).



شكل (7): فحص التماس بين حلقات الموحد ومحور الدوران

5- صيانة كراسي التحميل (البيل) في المحرّك:

يصدر عن المحرّك أحياناً ضجيج كبير نتيجة عدم الاتزان في الحركة لعمود الدوران، وهذا يدل بشكل قاطع على أن البيل الَّتي توازن حركة عمود الدوران من الاتجاهين في المحرّك أصبحت تالفة؛ مما يتطلب تغيّرها، ويمكن فحص مدى صلاحيتها بتحريك عمود الدوران باليد إلى أعلى وإلى أسفل، وملاحظة النتيجة، وتُعَدّ البيل من العناصر الَّتي تساعد على تثبيت محور دوران المحرّك مع الغطائين الجانبيين للمحرّك، ومع الهيكل التابع للجزء الثابت، هذا وتتطلب عمليّة تغييرها فكّ المحرّك، وإعادة تجميعه بعد تبديلها بأخرى من نفس الشركة الصانعة، كما في الشكل (8).





شكل (8): كراسي التحميل (البيل)

وتصنع البيل من الحديد، ويكون لها قطر داخلي يتناسب مع قطر عمود الدوران للمحرّك والقطر الخارجيّ لها يتناسب مع الفتحات الخاصّة لها في غطائي المحرّك الجانبيين ومع بكرات نقل الحركة المركبة على المحور. وتعطى البيل أرقام خاصّة من الشركة الصانعة لتدل على الأقطار والأبعاد الخاصّة بها، وكذلك لتساعد فني الصيانة على توصيفها عند الشراء لاستبدالها. وتستعمل البريصة المُبيّنة في الشكل (9) لنزعها واستبدالها.





شكل (9): أداة نزع كراسي التحميل (البيل)

سؤال: لماذا لا يتمّ إعادة لفّ منتج آلة تيّار مستمرّ في كثير من الأحيان في حالة حصول عطل فيه، ويتمّ استبداله بآخر جديد غالباً؟

ثانياً- أعطال محرّكات التيّار المستمرّ وكيفيّة صيانتها:

العطل	الأسباب المحتملة	إجراءات الإصلاح
المحرّك لا يبدأ دورانه	احتراق المصهر	بدِّل المصهر
	اتساخ الفرش أو ارتخاء نابض الفرش	نظفه وتأكد من حرية حركتها وتبديل النابض إذا لزم
	فتح في ملفّات المجال	صل دارة الملفّ المفتوح
	قصر في ملفّات المجال	استبدل الملفّ التالف
	تآكل في البيل	استبدل البيل
	تلامس حامل الفرش مع جسم المحرّك	افصل التلامس وإذا تعذر بدِّل الحامل
	زيادة الحمل	استبدل المحرّك بآخر مناسب للحمل
	قصر في المبدل (الموحد)	قم بالتنظيف بين نحاسات المبدل المقصورة

حدوث شرارة أثناء الدوران	عدم التلامس الجيّد بين الفرش والمبدل	ضبط التلامس
	اتساخ المبدل	ينظف جيداً وبالطريقة المناسبة
	فتح في بعض ملفّات المبدل	أعد لفّ المنتج
	خطأ في قطبيّة أقطاب التوحيد	مراجعة التوصيل وإعادة توصيله بالشكل الصحيح
	قصر في الملفات	صل الأقطاب بالطريقة المناسبة
	قصر مع جسم المحرّك	يفصل القصر وإذا تعذر تبدل الملفات
	عكس توصيل طرفي ملفّات المنتج	ضبط التوصيل
	عدم وجود الفرش في الوضع السليم	ضبط وضع الفرش الكربونية
	وجود قضبان عالية أو منخفضة	ضبط الوضع السليم
	خطأ في توصيل الأطراف	التوصيل الصحيح
المحرّك يدور ويصدر ضجيجاً عالياً أثناء الدوران	تآكل البيل	بدّل البيل
	وجود قضبان عالية ومنخفضة	ضبط الوضع السليم
	خشونة سطح المبدل	ينظف بحرص بورق الصنفرة
المحرّك يدور ببطء	قصر ملفّات المجال	بدّل الملفات
	قصر في المبدل	يزال القصر
	تآكل البيل	بدّل البيل
	فتح في ملفّات المنتج	صل الملفّات بالطريقة المناسبة
	الفرش الكربونية ليست في الوضع السليم	اضبط وضع الفرش
	زيادة الحمل	قلل الحمل، أو أعد ضبط شد السيور إن وجد
	خطأ في قيمة جهد المنبع	التحري عن سبب خطأ الجهد وإصلاحه

زيادة سرعة المحرّك عن السرعة الاسميّة لها	فتح في دائرة ملفّات التوازي	صل الملفّات بالطريقة الصحيحة
	دوران آلة التوالي من دون حمل	يجب التحميل قبل التشغيل
	قصر في ملفّات المجال	بدِّل الملفات
	تلامس بين الملفّات وجسم المحرّك	يفصل التلامس، وإذا تعذر ذلك تبدل الملفات
زيادة حرارة المحرّك أثناء الدوران	زيادة الحمل	قلل الحمل أو اضبط شد قشاط نقل الحركة
	تآكل البيل	بدِّل البيل
	قصر في الملفات	بدِّل الملفات
	زيادة ضغط الفرش أكثر من اللازم	ضبط وضع الفرش

5 - 3 الموقف التعليميّ الثالث: تشغيل محرّك تيّار متناوب ثلاثيّ الطور

وصف الموقف التّعلّميّ:

حضر صاحب منشار حجر إلى مؤسسة صيانة المصانع يريد أن يستبدل أحد محرّكات ماكينة المنجل (لمنشار الحجر)، ويريد من المؤسسة أن ترسل له الفنِّيّ المختص؛ ليحدد له مواصفات المحرّك، وأن يشتري له كلّ ما يلزم لتركيب المحرّك المطلوب وتوصيله وتشغيله.

العمل الكامل:

خطوات العمل	وصف الموقف الصّفّيّ	المنهجيّة (إستراتيجيّة التّعلّم)	الموارد حسب الموقف الصّفّيّ
أجمع البيانات، وأُحللها	• أجمع البيانات من صاحب المنشار عن طبيعة الخلل. • أجمع بيانات عن: - تركيب محرّكات التيّار المتناوب ثلاثيّ الطور - اللّوحة الاسميّة للمحرّك وتفسير بياناتها. - أنواع محرّكات التيّار المتناوب ثلاثيّ الطور ومقرّراتها الأمبيريَّة. - العلاقات الكهربائيّة الرياضية البسيطة لحساب الأحمال لمحرّكات المتناوب ثلاثيّ الطور. - طرق تشغيل محرّكات التيّار المتناوب ثلاثيّ الطور، وطرق بدء الحركة فيها والتحكّم بسرعتها. - شروط السلامة المهنيّة المتعلّقة بتركيب المحرّكات الكهربائيّة ثلاثيّة الطور وتوصيلها وتشغيلها. - وسائل الحماية والسلامة المهنيّة.	• البحث العلميّ. • الحوار والمناقشة.	• وثائق (كتالوج). • الشبكة العنكبوتية.

أُخطّط، وأُقرّر	• أصنف البيانات وتبويبها. • أحدد الأدوات والعِدَد والأجهزة اللازمة للعمل. • أحدد خطوات العمل: - مقارنة قدرة المحرّك الكهربائيّ مع الأحمال الكهربائيّة المتّصلة به. - مراجعة مخطّط لوحة توصيل المحرّك مع اللّوحة الاسميّة للمحرّك. - فحص المحرّك كهربائيّاً وميكانيكياً. - اختيار الحساسيّة المناسبة للقاطع حسب قدرة المحرّك المستخدم وطبيعة الحمل المتصل به (صندوق تروس ......بكرة). • إعداد جدول زمنيّ للتنفيذ.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• قرطاسيّة. • وثائق. • نموذج الجدول الزمنيّ.
أُنفّذ	• استخدام أدوات السلامة المهنيّة وفقاً للمعايير الفنّيّة وأنظمة السلامة ذات الصلة. • استخدام العِدَد والأدوات المناسبة لعمليّة الفكّ والتركيب والتثبيت. • اتّباع مُخطّطات توصيل محرّكات التيّار المتناوب ثلاثيّة الطور. • التزام وسائل الحماية والسلامة المهنيّة أثناء العمل. • فحص مصدر الجهد المغذّي. • فحص وسائل الحماية والوقاية الكهربائيّة وقدراتها الأمبيريّة. • فحص ملفّات المحرّك للتأكُّد من صلاحيتها. • فحص أطراف توصيل المحرّك والكابلات المتصل به. • تثبيت المحرّك ثلاثيّ الطور في المكان المخصّص جيداً. • تمديد الكابلات الكهربائيّة المناسبة من مصدر الجهد. • توفير وسائل الحماية والتشغيل الكهربائيّة ثلاثيّة الطور. • توصيل أطراف المحرّك ثلاثيّ الطور مع كابل التغذية وتشغيله. • قياس تيّار الحمل أثناء عمل المحرّك ثلاثيّ الطور للتأكُّد من مطابقته لمواصفات الشركة الصانعة.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• صندوق العِدّة. • القطع اللازمة لعمليّة التركيب والتشغيل والصيانة. • أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة.

أتحقَّق	• التّحقّق من السلامة والاحتياطات الَّتي تمَّ أخذها بعين الاعتبار أثناء فكّ المحرّك وتركيبه. • التّحقّق من تشغيل المحرّك حسب لوحة المحرّك الاسميّة. • التّحقّق من قيمة التيّار المسحوب من المحرّك أثناء العمل للتأكُّد من مطابقته لمواصفات المحرّك. • تقييم معامل الأمان للقواطع الَّتي تمَّ أخذها بعين الاعتبار في تنفيذ المهمة. • التّحقّق من جودة العمل.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة. • وثائق.
أُوَثِّق، وأقدم	• إنشاء قوائم خاصّة بالعِدَد اليدويّة ووسائل القياس المستخدمة. • تحديد جدول زمنيّ للتسليم. • تسليم قوائم العمل لمسؤول الصيانة. • فتح ملفّ بالحالة.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• جهاز حاسوب. • جهاز عرض. • قرطاسيّة.
أُقوم	• رضا صاحب المنشار بما يتفق مع طلبه. • المطابقة مع المواصفات والمعايير.	• الحوار والمناقشة. • البحث العلميّ.	• نماذج التقويم. • طلب الزبون.

الأسئلة:

1. أوضح كيف تركيب المحرّكات الكهربائيّة واختيار الكوابل الخاصّة بها؟
2. ما طرق تمديد الكوابل الخاصّة بتشغيل المحرّكات الكهربائيّة ثلاثيّة الطور؟
3. كيف يتمّ تركيب محرّكات التيّار المتناوب ثلاثيّة الطور، وتوصيلها، وتشغيلها، وحمايتها؟

أتعلّم:

نشاط: فكّ محرّك حثّيّ ثلاثيّ الطور ذي قفص سنجابي لمعاينة أجزائه وإعادة تركيبه.

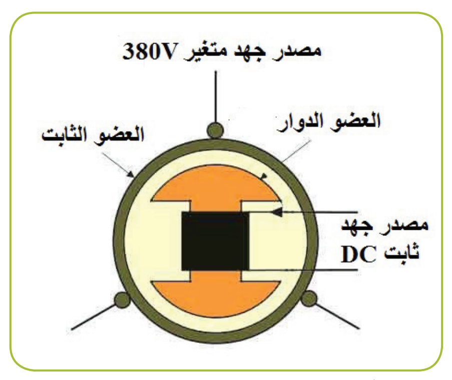
تمتاز محرّكات التيّار المتردّد عن مثيلاتها في محرّكات التيّار المستمرّ بأنّها لا تحتوي على عضو التوحيد ضمن مكوّناتها؛ ممّا يجعلها أقل عرضة للأعطال، ويسهّل عمليّة إجراء الصيانة اللازمة لها.

وتقسم محرّكات التيّار المتردّد إلى:

1. **محرّكات تزامنية (توافقية):** حيث يتمّ فيها توليد المجال المغناطيسيّ من مصدر تيّار مستمرّ.
2. **محرّكات حثّيّة (أحاديّة وثلاثيّة الطور):** ويتمّ توليد المجال المغناطيسيّ فيها بطريقة حثّيّة (تأثيرية).

أولاً- المحرّكات التّزامنيّة ثلاثيّة الطور (Synchronous Motor):

المحرّك التزامني: هو آلة كهربائيّة تحول الطاقة الكهربائيّة إلى طاقة ميكانيكيّة بسرعه ثابتة هي سرعة التوافق (التزامن)، أيّ أن سرعة العضو الدّوّار تساوي سرعة المجال المغناطيسيّ المتولد من الثابت، ويُسمّى أيضاً بالمكثّف التزامني؛ لأنه يتحكم في القدرة غير الفعالة (يحسن معامل القدرة)، ويحتاج المحرّك (المولد) التزامني إلى مصدر جهد تيّار متردّد ومصدر جهد تيّار مستمرّ معاً لحركته، والشكل (1) يُبيّن تركيب المحرّك التزامني.



شكل (1): تركيب المحرّك التزامني

1- نظريّة عمل المحرّك التزامني:

بنيت على توليد مجال مغناطيسيّ دوار في العضو الثابت، وذلك بتوصيل ملفّات الثابت بتيّار متغيّر ثلاثيّ الأوجه، وتوليد مجال آخر بالعضو الدوار، وذلك بتغذية ملفّات أقطابه بتيّار مستمرّ، فيحدث ارتباط بين المجالين (تجاذب شمالي وجنوبي)، ارتباط المجالين معاً يسبب دوران العضو الدّوّار بسرعة التزامن (لكنه لا يبدأ الحركة من تلقاء نفسه) لأنه يتولد في كلّ زوج من أقطاب العضو الدّوّار عزم دوران متساوٍ ومتضاد، فتكون محصِّلة عزم الدوران تساوي صفراً، وبذلك نحتاج لوسيلة خارجيّة لإدارة عضوه الدائر إلى سرعة التزامن.

2- طرق بدء حركة المحرّك التزامني، يوجد طريقتان:

أ- باستعمال محرّك مساعد خارجيّ:

المحرّك المساعد هو محرّك استنتاجيّ ثلاثيّ الطور صغير عدد أقطابه تقل بمقدار قطبين من المحرّك التزامني؛ لكي يصل المحرّك التزامني إلى سرعة التوافق وهو غير محمل، ويركب على عمود دوران المحرّك التوافقي، ثم يتمّ تغذية العضو الدّوّار للمحرّك التزامني بالتيّار المستمرّ، ويغذى العضو الثابت بالتيّار المتغيّر، فيحدث الترابط ويستمر المحرّك التزامني في الدوران، ثم يتمّ فصل الاستنتاجيّ الصغير.

ب- بدء الحركة كمحرك حثي:

يوجد في بعض أنواع المحركات التزامنية قضبان من النحاس أو الالمنيوم موضوعة داخل مجار خاصة على الأقطاب البارزة للعضو الدوار مقصورة من الطرفين تسمى ملفات التخميد، وهي تشبه القفص السنجابي, هذا النوع يسمى المحرك التزامني الحثي. وتكون سرعة العضو الدوار عند بدء الدوران أقل من السرعة التزامنية مما يؤدي الى توليد قوة دافعة حثية في هذه القضبان وبالتالي مرور تيار حثي في القضبان مما يؤدي الى توليد مجال مغناطيسي, هذا المجال سيتفاعل مع المجال الرئيسي ويؤدي الى وصول العضو الدوار الى السرعة التزامنية.

3- خطوات تشغيل المحرّك التزامني:

- يدار العضو الدّوّار بأي طريقة من الطرق السابقة، حتى تصل سرعته إلى سرعة التوافق.
- تغذية ملفّات العضو الدّوّار بالتيّار المستمرّ.
- عند التوافق يتمّ توصيل ملفّات العضو الثابت بالتيّار المتغيّر لحظياً.
- فصل وسيلة دوران العضو الدوّار.
- تحميل المحرّك التزامني.

4- عكس حركة المحرّك التزامني:

- في حالة استخدام محرّك استنتاجيّ خارجيّ لبدء حركته (بعكس اتجاه المجال الدائر له)، وذلك بتبديل طرفين كلّ مكان الآخر، فينعكس اتجاه حركة محرّك البدء.
- في حالة استخدام محرّك استنتاجيّ داخلي لبدء الحركة (بعكس اتجاه المجال الدائر له)، وذلك بتبديل طرفين من الثلاثة أوجه المغذّية، كلّ مكان الآخر.

ثانياً- المحرّكات الحثّيّة ثلاثيّة الطور (Three Phase Induction Motor):

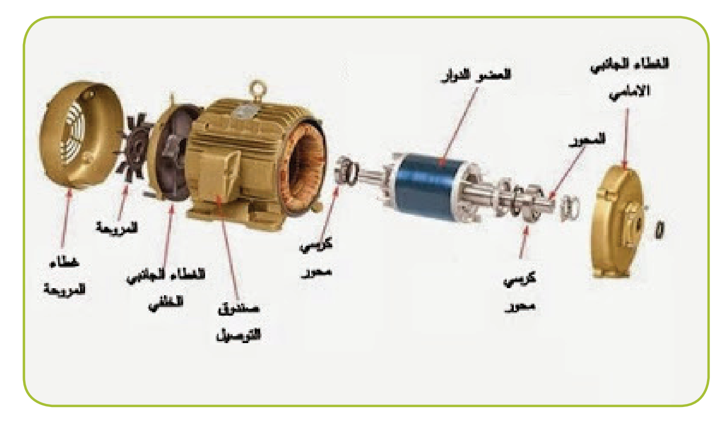
سمي المحرّك الحثّيّ ثلاثيّ الطور بالحثّيّ؛ لأن التيّار المتشكل في ملفّ العضو الدّوّار يتولد بتحريض من تيّار العضو الثابت، وتتراوح قدرته بين كسور الحصان وعِدّة آلاف من الأحصنة، وهذا المحرّك له خاصية ثبات السرعة إلى حدّ كبير، كما أنه بسيط التركيب ومنخفض الثمن مقارنة بالمحرّكات الأخرى، ويكون في الغالب مزدوج الجهد (ستار 380V ودلتا 220V).

ومما يعيب هذا المحرّك أنه ليس من السهل التحكّم في سرعته، كما أن تيّار البدء لهذا المحرّك عالٍ يصل إلى حوالي (6 - 8 أضعاف تيّار الحمل الكامل)، وكذلك انخفاض معامل القدرة له عند الأحمال الخفيفة.

إلا أن مميزات هذا المحرّك في معظم التطبيقات الصناعيّة تفوق عيوبه، وكما أن اختراع (العاكسات - INVERTER) للتحكم بسرعته (وهي غير مرتفعة الثمن) أدت إلى التغلب على هذه المساوئ. ويستخدم المحرّك ذو الثلاثة الأوجه لإدارة ماكينات الورش والرافعات ومضخات المياه ....إلخ.

1- أنواع محرّكات الحثّيّة ثلاثيّة الطور ومكوّناتها:
يوجد نوعان مختلفان في التركيب، ومتقاربان في الخصائص الكهربائيّة، ويُسمّى المحرّك عادةً بإسم عضوه الدّوّار للتمييز بين نوعيه، وهما:

أ- المحرّك الحثّيّ ثلاثيّ الطور ذو القفص السنجابي (Squirrel Cage Motor): يتكوّن من الأجزاء الرئيسية الآتية: كما في الشكل (2).



شكل (2): الأجزاء الرئيسية لمحرّك ثلاثيّ الطور ذي القفص السنجابي

- العضو الثابت (Stator): ويتكوّن من ثلاثة أجزاء أساسيّة وهي:

- **الهيكل الخارجيّ (الإطار):**

يصنع من الصلب (حديد الزهر) أو الألمنيوم، ذو زعانف على سطحه الخارجيّ تعمل على تبريد الملفّات خلال الهواء المندفع من مروحة التبريد، ويستخدم الإطار لحمل الشرائح المكونة للقلب ولتثبيت الغطاءين الجانبيين وصندوق لوحة التوصيل.

- **قلب العضو الثابت:**

يصنع من شرائح الصلب السليكوني (Motor Laminations) المعزولة بعضها عن بعض بالورنيش والمضغوطة، يشق على محيطها الداخليّ مجارٍ طولية توضع بها ملفّات العضو الثابت، كما في الشكل (3).

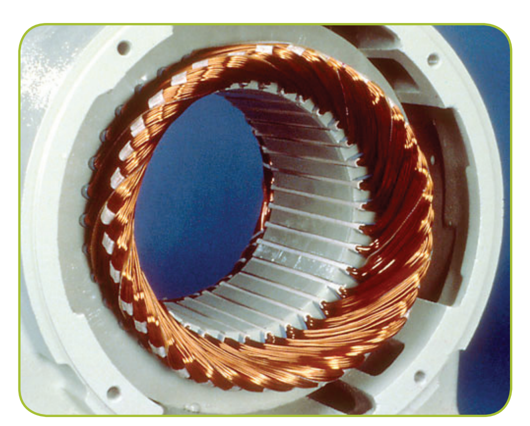



شكل (3): شرائح معزولة مصنوعة من الحديد تضغط بعضها فوق بعض لتشكل العضو الثابت للمحرّك



- **ملفّات العضو الثابت:**

تصنع من أسلاك نحاسية معزولة بالورنيش تلفّ على فرم خاصّة بمقاس وبعدد لفّات يتناسب مع قدرة المحرّك، وتربط بالجهد والتيّار المارّ فيها. توصل أطراف الملفّات، بحيث تنتج ثلاث مجموعات مستقلة متشابهة ومتساوية في كلّ شيء، توزع على محيط العضو الثابت، بحيث تتباعد بداياتها ونهاياتها بعضها عن بعض بزاوية مقدارها (120°) كهربائيّة، وظيفتها إنتاج ثلاثة مجالات دائرية متعاقبة ينتج عنها المجال الدائري الذي يتسبب في إحداث عزم الدوران في المحرّك، كما في الشكل (4).



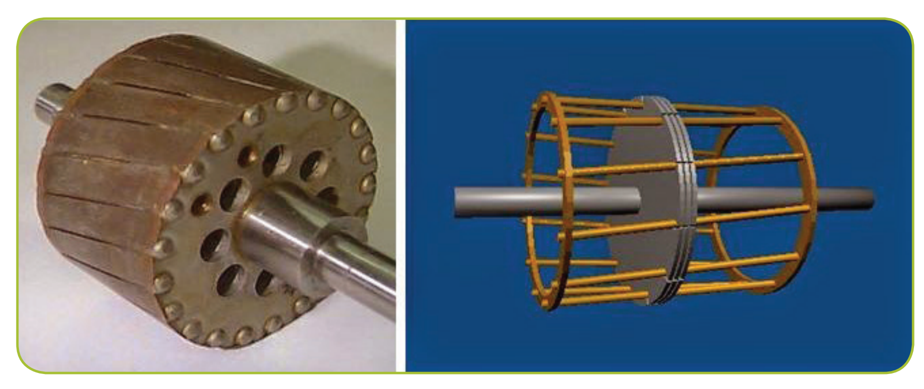
شكل (4): ملفّات العضو الثابت للمحرّك الحثّيّ ثلاثيّ الطور

بعد اكتمال تصنيع العضو الثابت بهذه الطريقة يتمّ تقسيمه إلى العدد المطلوب من الأقطاب، ثم يتمّ تركيب ملفّات كلّ طور في المجاري الخاصّة به، بحيث يفصل بين كلّ طور وآخر (120°)، وفي نهاية عمليّة تنزيل الملفّات في المجاري يكون قد تكَون لدينا ثلاثة ملفّات في العضو الثابت لكل منها طرفان يتمّ من خلالها تغذية العضو الثابت بالتيّار المتردّد، وتوصل أطرافها إما على شكل ستار (Y) أو على شكل دلتا (Δ).

- العضو الدّوّار ذو القفص السنجابي (Squirrel Cage Rotor):

هو عبارة عن جسم أسطواني يتكوّن من شرائح الحديد المضغوطة بعضها فوق بعض المعزولة بالورنيش تثبت على عمود الدوران، يشق على محيطها الخارجيّ مجار طولية بشكل مستقيم أو مائل، توضع به ملفّات القفص السنجابي والتي تتكون من قضبان نحاسية أو ألمنيوم سميكة في هيئة قفص، وتوصل أطراف القضبان بحلقة سميكة من نفس معدن القضبان، بحيث تشبه القضبان والحلقتان في تكوينهما قفص السنجاب (لذلك سميت بهذا الاسم) لتكمل الدائرة الكهربائيّة للعضو الدوار، كما هو مبيّن في الشكل (5).

هذا النوع القفصي لا يقسم إلى عدد معين من الأقطاب، وإنما يستطيع التكيف تلقائياً مع عدد الأقطاب والأطوار للعضو الثابت، ولا يوجد به حلقات انزلاق، وبالتالي لا يمكن ربطه بدارة خارجيّة، ولا يمكن التحكّم بخصائص تشغيله، لأنه يدور تحت تأثير الحثّ المغناطيسيّ من العضو الثابت.



شكل (5): العضو الدّوّار ذو قفص سنجابي

- **مميزات المحرّك الحثّيّ ثلاثيّ الطور ذو القفص السنجابي:**

يُعدّ المحرّك الحثّيّ ذو القفص السنجابي من أوسع المحرّكات ثلاثيّة الطور انتشاراً للأسباب الآتية:

» بساطة تركيبه.

» قلة كلفة إنتاجه (قلة ثمنه).

» تحمله للظروف الجوية الصعبة.

» لا يحتوي عضوه الدائر على موحد أو فرش كربونية (كما هو الحال في محرّكات التيّار المستمرّ).

» يتحمل تيّار بدء كبير دون أن يتضرر.

» سهولة صيانته.

» يتوفر بقدرات عالية جدّاً.

» مناسب لجميع الأعمال الّتي تتطلب جهداً ثابتاً وسرعة ثابتة.

ب- المحرّك الحثّيّ ثلاثيّ الطور ذو العضو الدّوّار الملفوف (ذو حلقات الانزلاق)، يتكوّن من:

- **العضو الثابت:** ويشبه تركيبه تماماً العضو الثابت للمحرّك ذي القفص السنجابي.
- **العضو الدّوّار الملفوف (ذو حلقات الانزلاق) (Slip - Ring Rotor or Wound Rotor):**

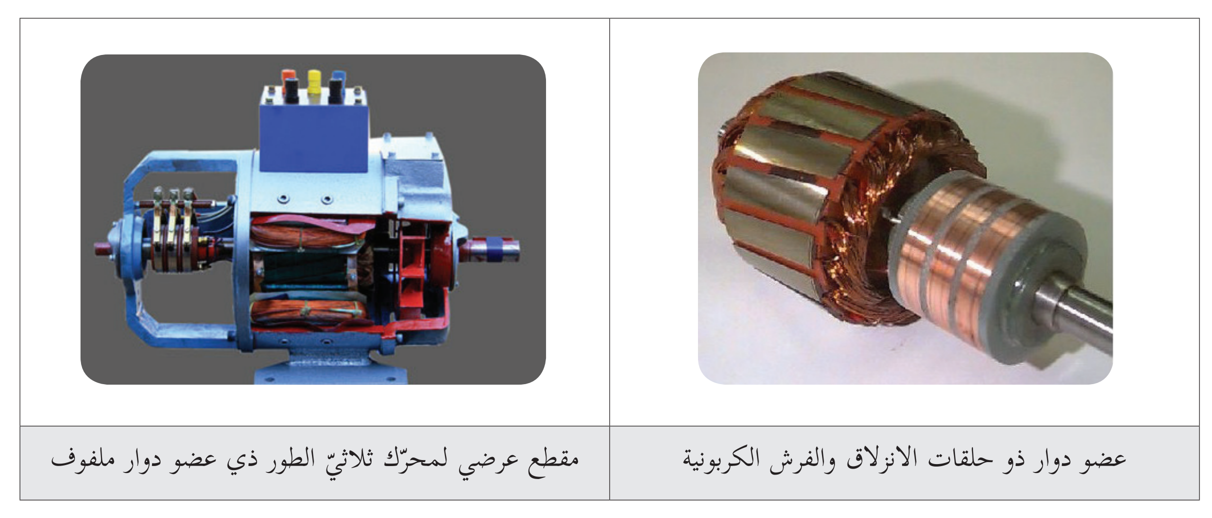
هو عبارة عن جسم أسطواني الشكل يتكوّن من مجموعة من شرائح الحديد المضغوطة بعضها فوق بعض، والمعزولة بالورنيش، وقابليتها للتمغنط عالية جدّاً، يشق على محيطها الخارجيّ مجارٍ توضع بها ملفّات العضو الدّوّار (ملفّات من سلك النحاس المعزولة بالورنيش تكون معزولة عن المجاري بواسطة عازل ورقي أو بلاستيكيّ).

يقسم العضو الدّوّار إلى عدد من الأقطاب مساوٍ لأقطاب العضو الثابت، وتقسم المجاري في كلّ قطب إلى ثلاث مجموعات، كلّ مجموعة يركّب فيه ملفّات أحد الأطوار الثلاثة، بحيث يكون بين كلّ ملفّ طور وملف الطور الآخر زاوية مقدارها (°120)، ويخرج منها بداية ونهاية، تقصر البدايات الثلاث أو النهايات معاً في نقطة داخلياً لتكون بشكل

ستار أو دلتا. وتوصل الثلاث أطراف الأخرى إلى ثلاث حلقات انزلاق نحاسية تكون مثبتة على عمود الدوران ومعزولة عنه وعن بعضها، (ومن هنا جاءت تسمية هذا النوع من المحرّكات بالمحرّكات ذات الحلقات الانزلاقية)، ويتمّ توصيل الأطراف مع مقاومة خارجيّة متغيّرة عن طريق فرش كربونية (فحمات)، كما هو مبيّن في الشكل (6).

وتستخدم المقاومة الخارجيّة المتغيّرة (المتّصلة على التوالي مع ملفّات العضو الدوار)، وذلك من أجل التحكّم في بدء دوران المحرّك أو التحكّم بسرعة المحرّك، وتكون المقاومات الثلاث كلها عند بدء التشغيل، ثم تخرج منها شيئاً فشيئاً بعد أن يصل المحرّك إلى (80%) من سرعة دورانه.

ويُبيِّن الشكل (6) عضواً دواراً ملفوفاً يظهر عليه حلقات الانزلاق والفرش الكربونية، وكما هو واضح من الشكل فإنّ تكاليف هذا المحرّك أعلى من تكلفة المحرّك الحثّيّ ذي القفص السنجابي؛ ذلك لأنه أكثر تعقيداً، وبالتالي يحتاج إلى صيانة أكبر بالإضافة لمشاكل تتعلق بحلقات الانزلاق والفرش الكربونية.



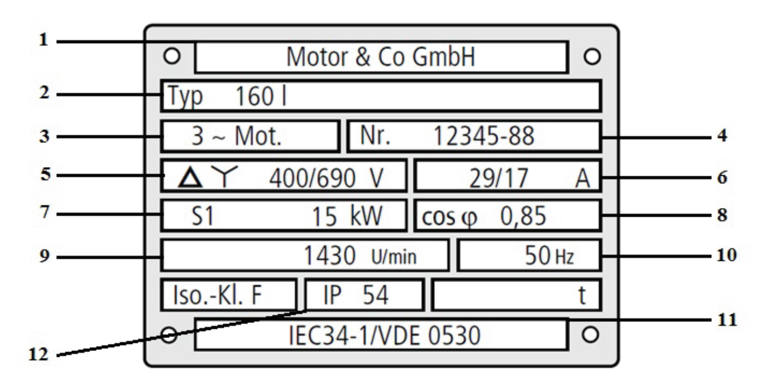
عضو دوار ذو حلقات الانزلاق والفرش الكربونية	مقطع عرضي لمحرّك ثلاثيّ الطور ذي عضو دوار ملفوف

شكل (6): عضو دوار ملفوف مع حلقات الانزلاق والفرش الكربونية

- **مميزات المحرّك الحثّيّ ثلاثيّ الطور ذو العضو الملفوف:**
  - » عزم البدء له قد يزيد عن خمسة أضعاف العزم عند الحمل الكامل (محرّكات أكبر من 10KW).
  - » يمكن الحصول على مميزات تشغيل مناسبة.
  - » يمكن التحكّم بسرعته بواسطة وجود المقاومة الخارجيّة في دارة العضو الدّوّار مثل تطبيقات التحكّم في سرعة الروافع والمصاعد والمِضخّات وماكينات صقل الورق.

2- اللّوحة الاسميّة للمحرّك الحثّيّ (Motor Name Plate):

إن لكل محرّك بيانات خاصّة به تحددها الشركة الصانعة له، وتضع هذه البيانات على لوحة بيان خاصّة تثبت على هيكل المحرّك الخارجيّ، وتسمى باللّوحة الاسميّة للمحرّك، وتحتوي هذه اللّوحة على أهم البيانات الخاصّة بمواصفات المحرّك والمتفق عليها من قبل الشركات الصانعة، ولهذا يجب المحافظة عليها؛ حتى يتسنى لفني الصيانة الرجوع إليها عند الحاجة، ويجب الاطلاع على هذه المعلومات قبل عمليّة توصيل المحرّك أو تشغيله، كما في الشكل (7).



شكل (7): بيانات خاصّة باللَّوحة الاسميّة لمحرّك تيّار متناوب

ويمكن أن تضم هذه اللَّوحة البيانات التالية:

1	اسم الشركة المصنعة (Motor & Co GmbH)	7	قدرة المحرّك (15KW)
2	نوع التصميم (حجم الإطار) (160I)	8	معامل القدرة (Power Factor = 0.85)
3	محرّك تيّار متناوب ثلاثيّ الطور (3 ~ Mot)	9	السرعة المقنّنة (1430 دورة في الدقيقة)
4	رقم تسلسلي للمحرّك (Nr. 12345-88)	10	التردّد المقنن (50Hz)
5	جهد التغذية المقنن (400V لتوصيلة دلتا، و690V لتوصيلة ستار)	11	معايير ومقاييس (Standards and Regulations)
6	التيّار المقنن (29A لتوصيلة دلتا و 17A لتوصيلة ستار)	12	درجة الحماية (IP 45)

3- كود درجات الحماية (IP Classification Codes):

عرفت المواصفات القياسيّة العالميّة (ICE) درجات الحماية المختلفة لكل من الأجسام الصلبة/ الإنسان والمياه كالآتي: IPXY

حيث إنَّ:

X	هي الرقم المميز لدرجة الحماية ضد تسرب المواد الصلبة داخل الجهاز.
Y	هي الرقم المميز لدرجة الحماية ضد تسرب الماء داخل الجهاز.

والجدول (1) يوضّح القيم لكل من Y و X ومدلولاتها

الرقم الأول حماية ضد الأجسام الصلبة	الرقم الثاني حماية ضد المياه
(0) لا يوجد حماية	(0) لا يوجد حماية
(1) أجسام ذات قطر أكبر من ٥٠ مم (Ø 50 mm)	(1) سقوط المياه رأسياً
(2) أجسام ذات قطر أكبر من ١٢ مم (Ø 12 mm)	(2) سقوط المياه من أعلى بزاوية ١٥° (15°)
(3) أجسام ذات قطر أكبر من ٢,٥ مم (Ø 2,5 mm)	(3) سقوط المياه من أعلى بزاوية ٦٠° (مياه الأمطار) (60°)
(4) أجسام ذات قطر أكبر من ١ مم (Ø 1 mm)	(4) سقوط المياه من كل الإتجاهات
(5) حماية تامة ضد الأتربة	(5) ضخ المياه من كل الإتجاهات (خراطيم إطفاء حريق)
(6) حماية تامة لعزل أي جزء مهما كان حجمه	(6) ضخ المياه بقوة كبيرة من جميع الإتجاهات
	(7) الغمر في المياه

مثال: إذا كانت درجه حمايه المحرّك (IP55) فهذا يعني أن المحرّك مصمم للوقاية من دخول الأتربة الضارة، وكذلك ضد تسرب الماء المندفع من نافورة في جميع الاتجاهات.

4- نظريّة عمل المحرّك الحثّي ثلاثيّ الأطوار:

نشاط: تشغيل محرّك ثلاثيّ الطور ذو قفص سنجابي للتعرف على مبدأ عمله ومفهوم السرعة التّزامنيّة والانزلاق.

عند تطبيق جهد كهربائيّ ثلاثيّ الطور على ملفّات العضو الثابت فإنّه يمرّ بهذه الملفّات تيّار متناوب محدثاً في الفجوة الهوائيّة مجالاً مغناطيسيّاً دواراً يقطع ملفّات العضو الدوار، مولداً بمبدأ ظاهرة الحثّ الكهرومغناطيسيّ تيّاراً كهربائيّاً في العضو الدوار؛ مما ينتج عنه مجال مغناطيسيّ آخر، ويتفاعل المجال المغناطيسيّ الناشئ من العضو الدّوّار مع المجال المغناطيسيّ الآتي من العضو الساكن، مُسبباً حركة العضو الدّوّار بنفس اتجاه ودوران المجالين.

وبما أن التأثير المتبادل بين هذين المجالين ينتج عزماً كهربائيّاً يدير العضو الدّوّار بسرعة (n)، وهي دوماً أقل من السرعة التوافقية (n_s)؛ لذلك سميت بالمحرّكات التحريضية اللاتوافقية بسبب أن السرعة الحقيقية أقل من السرعة التوافقية.

السرعة التّزامنيّة (n_s): هي سرعة المجال المغناطيسيّ الدّوّار المنتظم الذي ينشأ في الفجوة الهوائيّة بين العضو الثابت والعضو الدوار، وتقاس بوحدة (دورة/دقيقة) أو (rpm).

سرعة العضو الدّوّار (سرعة المحرّك الفعليّة) (n): تمثل سرعة دوران العضو الدّوّار الفعليّة لآلة تيّار متردّد، وتقاس بوحدة (دورة/دقيقة) أو (rpm).

$$n_s = \frac{120 \times f}{P}$$

حيث إنَّ:

n_s	السرعة التّزامنيّة وتقاس بوحدة (دورة/ دقيقة) أو (rpm).
f	تردّد المصدر الموصول مع العضو الثابت (50/60Hz). (تناسب طردي).
P	عدد أقطاب المحرّك وهو رقم زوجي، (تناسب عكسيّ).

5- مفهوم الانزلاق (Slip - S):

إن محرّك القفص السنجابي لا يمكن أن يصل إلى السرعة التّزامنيّة (n_s)، حيث إنَّه في ظروف التشغيل من دون حمل، يعمل المحرّك بسرعة (n) قريبة جدّاً من السرعة التّزامنيّة، وعند زيادة الحمل فإنّ سرعة المحرّك تقل.

الفرق بين السرعة التّزامنيّة وسرعة المحرّك الفعليّة (غير المتزامنة أو المقنّنة) يُسمّى الانزلاق (Slip) ويمكن حساب الانزلاق حسب المعادلة الآتية:

$$S = \frac{n_s - n}{n_s}$$

أو يمكن كتابة العلاقة بصورة أخرى:

$$n = n_s (1 - S)$$

ملاحظة: عندما تكون سرعة العضو الدّوّار مساوية لسرعة المجال المغناطيسيّ ($n = n_s$) أيّ في حالة اللاحمل فإنّ قيمة الانزلاق تقريباً تكون مساوية للصفر.

ونلاحظ أنه عندما يكون سرعة العضو الدّوّار مساوية للصفر ($n = 0$) أيّ في حالة سكون العضو الدّوّار فإنّ قيمة الانزلاق تكون مساوية (100%).

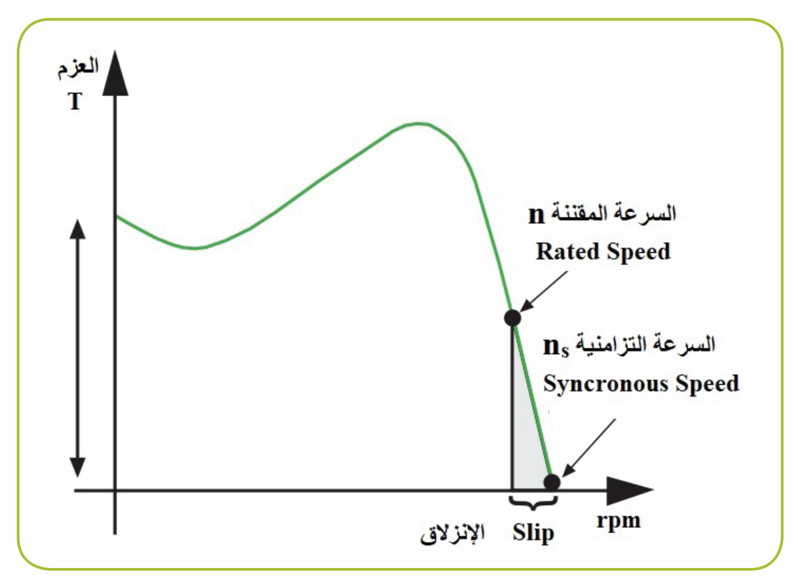
الجهد المتولّد في موصلات العضو الدّوّار يعتمد على السرعة النسبيّة بين العضو الدّوّار وسرعة المجال المغناطيسيّ الدّوّار الناتج من العضو الثابت، التي تسمى كذلك سرعة الانزلاق (n_{slip}):

$$n_{slip} = n_s - n$$

الانزلاق (Slip - S): هو الفرق بين السرعة التّزامنيّة وسرعة المحرّك الفعليّة، وتتراوح قيمته في المحرّكات الصغيرة ما بين (1%) إلى (2%) وقد تصل إلى (0.5%) في المحرّكات الكبيرة في حالة اللاحمل وعند التحميل يتراوح الانزلاق من 3% إلى (5%).

سرعة الانزلاق (n_{slip}): السرعة النسبيّة ما بين سرعة العضو الدّوّار (n) وسرعة المجال المغناطيسيّ الدّوّار الناتج من العضو الثابت (n_s).

ويُبيّن الشكل (8) الفرق بين سرعة المحرّك التّزامنيّة وسرعة المحرّك المقنّنة (الانزلاق).



شكل (8): الفرق بين سرعة المحرّك التّزامنيّة وسرعة المحرّك المقنّنة

سؤال: محرّك حثّيّ ثلاثيّ الطور له (4) أقطاب، يتغذى من مصدر (380V) بتردّد (50Hz)، فإذا كان الانزلاق (S) عند الحمل الكامل يساوي (5%)، احسب:

1- السرعة التّزامنيّة للمحرّك (n_s).
2- سرعة العضو الدّوّار (n).

الحل:

1- السرعة التّزامنيّة للمحرّك (n_s)

$$n_s = \frac{120 \text{ x } f}{P} = \frac{120 \text{ x } 50}{4} = 1500 rpm$$

2- سرعة العضو الدّوّار (n)

$$S = \frac{n_s - n}{n_s}$$

أو من العلاقة الثانية كما يأتي: $n = n_s (1 - S) = 1500 (1 - 0.05) = (1425 \text{ rpm})$

ملاحظة: سرعة المحرّك الّتي تكتب على لوحته الاسميّة هي سرعة العضو الدّوّار (1425rpm)، وبالتالي هي أقل من سرعة المجال المغناطيسيّ (السرعة التّزامنيّة) للمحرّك الحثي.

وجدير بالذكر أن سرعة المحرّك الحثّيّ تتوقف على عدد أقطابه باعتبار أن التردّد ثابت، والجدول (2)، يُبيّن علاقة سرعة المحرّك (سرعة العضو الدّوّار الحقيقية) بعدد الأقطاب والسرعة التّزامنيّة.

جدول (2): سرعات المحرّكات الحثّيّة على اعتبار أن سرعة الانزلاق (5%)

عدد الأقطاب	2	4	6	8	10
سرعة المجال المغناطيسيّ	3000	1500	1000	750	600
سرعة العضو الدّوّار (95%)	2850	1425	950	712	570

نشاط: اكتب تقريراً عن طرق التحكّم بسرعة المحرّكات الحثّيّة.

6- طرق التحكّم بسرعة المحرّكات الحثّيّة، يمكن التحكّم بسرعة المحرّكات الحثّيّة تبعاً للمعادلة:

$$n = n_s \ (1 - S)$$

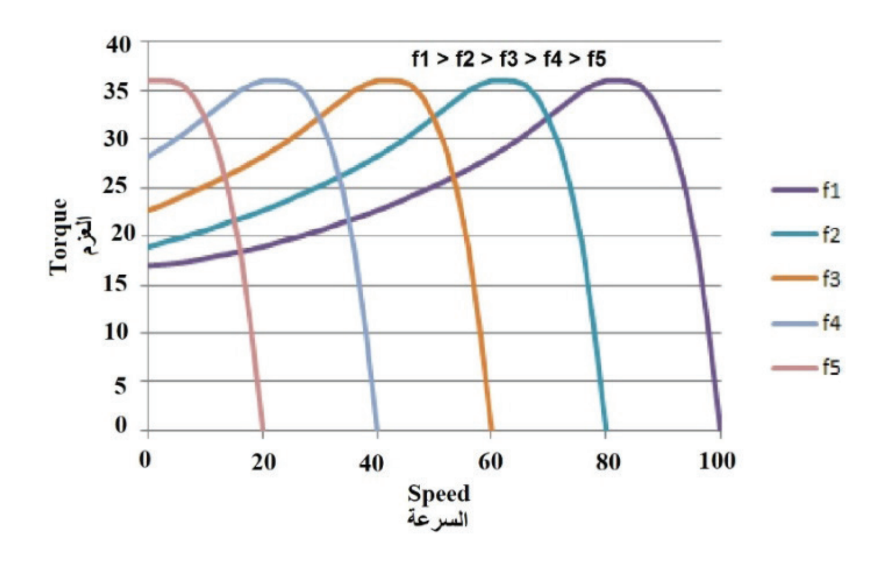
حيث تبين المعادلة أنه يمكن التحكّم بسرعة العضو الدّوّار (n) إما بتغيير قيمة الانزلاق (S) أو بتغيير قيمة السرعة التّزامنيّة (n_s).
وحيث إنَّ السرعة التّزامنيّة تعطى بالعلاقة:

$$n_s = \frac{120 \text{ x } f}{P}$$

لذلك فإنّه يمكن الاستنتاج أن سرعة المحرّك الحثّيّ تتغيّر بأحد الطرق الآتية:

أ- تغيير قيمة الانزلاق (S)، (التناسب عكسيّ):
تستخدم هذه الطريقة للمحرّكات ذات حلقات الانزلاق (العضو الدّوّار الملفوف) عن طريق توصيل مقاومة متغيّرة على التوالي مع ملفّات العضو الدوار، حيث يتغيّر موضع العزم الأقصى تبعاً لتغيير قيمة المقاومة وبالتالي تتغيّر السرعة، وهذه الطريقة تعطي تحكما محدوداً بالسرعة يحبذ أن لا يزيد عن (15%) حتى لا تقل كفاءة المحرّك نتيجة زيادة المفاقيد النحاسية للعضو الدوّار.

ب- تغيير التردّد (f) لمصدر الجهد المتناوب، (التناسب طردي):
ويتم تغيير قيمة تردّد جهد المصدر المتردّد أحاديّ أو ثلاثيّ الطور عن طريق استخدام أجهزة إلكترونيّة (باستخدام إلكترونيّات القدرة كالثايروستور والترياك)، كما في الشكل (9)، وسوف يتمّ التطرق لهذا الموضوع بشيء من التفصيل لاحقاً في فصل قادم بإذن الله.



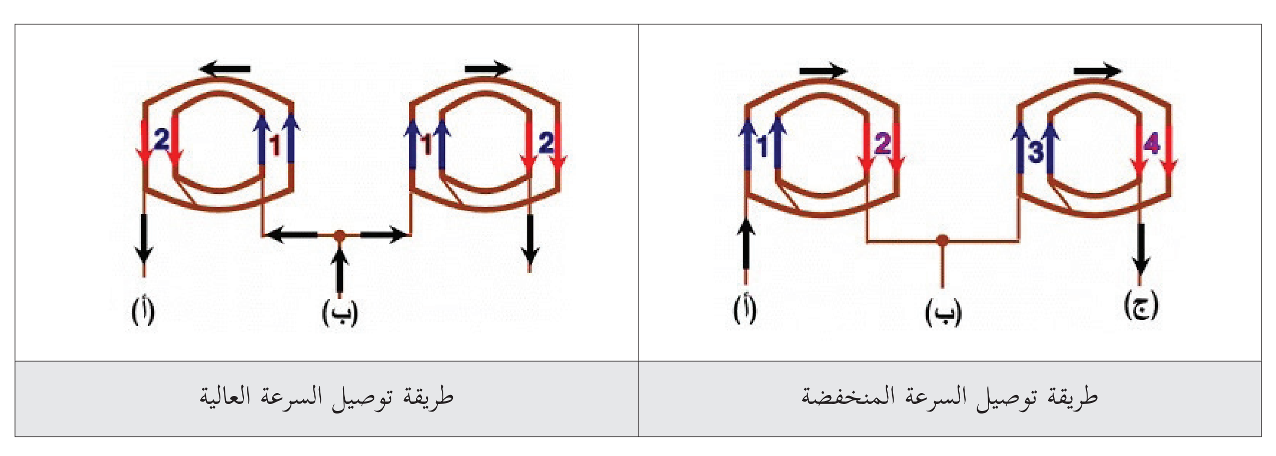
شكل (9): علاقة سرعة المحرّك وتغيير قيمة التردّد

ج- تغيير عدد الأقطاب (P) للمحرّك، (التناسب عكسيّ):

هذه الطريقة تلائم المحرّك ذا القفص السنجابي فقط؛ وذلك لصعوبة تغيير عدد أقطاب العضو الدّوّار في المحرّك ذي حلقات الانزلاق. ونعلم أن عدد الأقطاب يتناسب عكسيّاً مع السرعة، فكلما زاد عدد الأقطاب قلت السرعة، وكلما قل عدد الأقطاب زادت السرعة. ويمكن الحصول على السرعتين:

- السرعة المنخفضة: نلاحظ في الشكل (10) أنه عند سريان التيّار من النقطة (أ) يتكوّن لدينا قطبان في كلّ مجموعة من المجموعتين، بحيث يتكوّن لدينا في النهاية أربعة أقطاب، أيّ يصبح عدد الأقطاب ضعف عدد المجموعات.

- السرعة العالية: نلاحظ في الشكل (10) أنه عند سريان التيّار من نقطة المنتصف (ب) يتكوّن لدينا نفس القطب في جزء من المجموعة الأولى والجزء المجاور له من المجموعة الثانية، ويتكوّن لدينا قطب آخر في الجزئين المتجاورين من المجموعة الأولى والمجموعة الثانية، بحيث يتكوّن لدينا قطبان بدلاً من أربعة أقطاب، بمعنى أنه يصبح عدد الأقطاب نفس عدد المجموعات.



شكل (10): تغيير سرعة المحرّك بتغيير عدد الأقطاب للمحرّك ذي القفص السنجابي

7- عزم الدوران للمحرّك (Torque):

يعتمد عزم بدء التشغيل للمحرّك (Starting Torque) بشكل كبير على حجم المحرّك، فكلما كان المحرّك أصغر كان عزم بدء التشغيل أكبر، فمثلاً قيمة عزم بدء التشغيل لمحرّك صغير بقدرة حتى (30KW) تصل (من 2.5 إلى 3) أضعاف قيمة العزم المقنن، أما قيمة عزم بدء التشغيل لمحرّك متوسط بقدرة حتى (250KW) فتصل (من 2 إلى 2.5) أضعاف قيمة العزم المقنن، حتى إنه في بعض الأحيان في المحرّكات الكبيرة يكون عزم بدء التشغيل أقل من العزم المقنن، وفي هذه الحالة يفضل استخدام المحرّك ذوات حلقات الانزلاق، حيث إنَّه عند بداية التشغيل، يمكن التحكّم بمقاومة العضو الدّوّار، وعند زيادة السرعة يتمّ تقليل المقاومة، وبالتالي تقليل تيّار البدء، مع إمكانيّة تعديل عزم بدء التشغيل لأقصى قيمة.

ويمكن حساب قيمة العزم المقنن للمحرّك عن طريق المعادلة الآتية:

$$T = \frac{9550 \times P}{n}$$

حيث إنَّ:

T	العزم المقنن Rated Torque (N.m)
P	القدرة المقنّنة Rated Motor Power (W)
n	السرعة المقنّنة Rated Motor Speed (rpm)

8- منحنى السرعة والعزم في المحرّك الحثّيّ ثلاثيّ الطور:

العزم (Torque): هي القوة المؤثرة تأثيراً التوائياً على جسم ما، فينتج عنها دوران ذلك الجسم حول مركزه، ويقاس بوحدة (نيوتن.متر) (N.m). ويرمز له بالرمز (τ).

ويعطى عزم الحمل بالمعادلة التالية:

$$\tau_{Load} = \frac{P_{out}}{\omega_m} \text{ (N.m)}$$

حيث إنَّ:

τ_{Load}	عزم الحمل، ويعطى بوحدة نيوتن.متر (N.m)
P_{out}	القدرة الميكانيكيّة الخارجة، ووحدتها الوات أو الكيلو وات (W/KW)
ω	السرعة الزاوية لمحور الدوران، وتقاس بوحدة (راديان/ثانية)

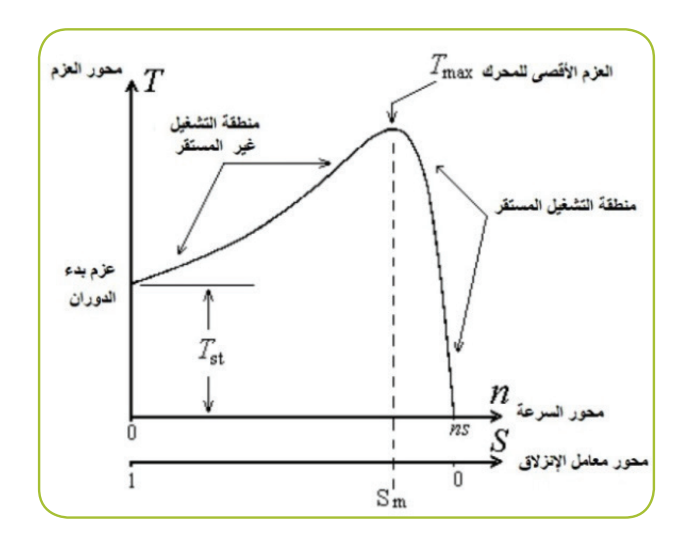
وحيث إنَّ السرعة الزاوية لمحور الدوران (ω_m) متغيّرة بتغيّر الحمل، لذلك يفضل استخدام السرعة التّزامنيّة الزاوية (ω_s) بدلاً منها، حيث يمكن حساب قيمة السرعة التّزامنيّة الزاوية (ω_s) من العلاقة:

$$\omega_s = \frac{2 \times \pi \times n_s}{60}$$

وترتبط السرعة الزاوية لمحور الدوران (ω_m) بالسرعة التّزامنيّة الزاوية للمجال المغناطيسيّ (ω_s) بالعلاقة الآتية:

$$\omega_m = (1- S) \text{ أو } n = n_s (1-S)$$

ويمكن رسم العلاقة ما بين الانزلاق والعزم المتولد للمحرّك الحثّيّ كما هو مبيّن في الشكل (11).



شكل (11): منحنى خصائص محرّك حثّيّ يُبيِّن علاقة العزم (τ) بسرعة المحرّك (n) أو (الانزلاق S)

بحيث ينقسم منحنى العزم إلى منطقتين هما:

أ- منطقة التشغيل غير المستقرّ: وهي المنطقة الَّتي تسبق منطقة العزم الأقصى، وفيها لا يستطيع المحرّك إدارة أيّ حمل مهما كان، وإن حدث أن تمَّ تحميل المحرّك في هذه المنطقة، فإنّه سوف يتباطأ إلى أن يتوقف.

ب- منطقة التشغيل المستقرّ: وهي المنطقة الَّتي تلي موضع العزم الأقصى والتي يستطيع المحرّك أن يدير الحمل المقنن له. وعادة يكون عزم الحمل الكامل مساوياً تقريباً لنصف العزم الأقصى للمحرّك، بشرط أن لا يزيد عن عزم البدء، أما إذا تمَّ تحميل المحرّك بعزم حمل أكبر من عزم البدء له، فإنّ المحرّك لا يستطيع الدوران، وينصح في هذه الحالة أن يتمّ تشغيل المحرّك بحمل خفيف (إن أمكن)، ومن ثم يضاف إليه باقي الأحمال، عندما يتعدى منطقة التشغيل المستقرّ.

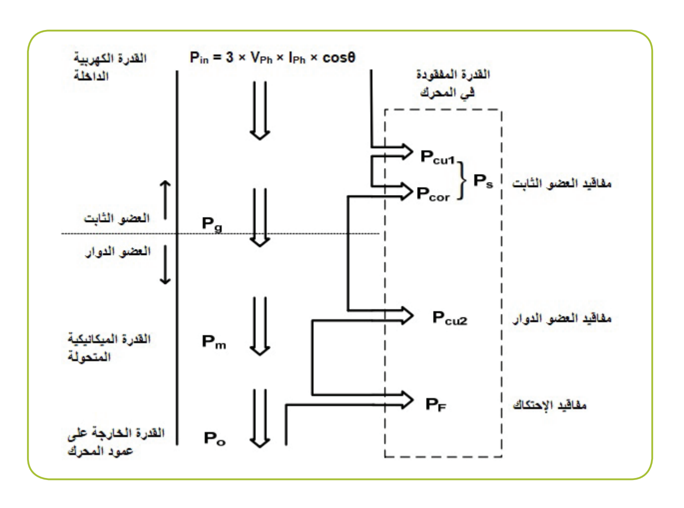
9- مخطّط انتقال القدرة داخل المحرّك الحثّيّ ثلاثيّ الطور:

يُبيِّن الشكل (12)، كيفيّة انتقال القدرة داخل المحرّك الحثّيّ من مصدر الجهد المتردّد إلى مخرج العضو الدوار، حيث تنتقل القدرة الداخلة من مصدر الجهد (P_{in}) إلى العضو الثابت للمحرّك، وتعطى بالعلاقة:

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V_{Ph} \times I_{Ph} \times \cos\theta$$

حيث إنَّ:

V_{Ph}	جهد الطور للعضو الثابت
I_{Ph}	تيّار الطور للعضو الثابت
θ	زاوية الطور بين الجهد والتيّار



شكل (12): مخطّط انتقال القدرة داخل المحرّك الحثي

القدرة الداخلة (P_{in}) للعضو الثابت سيُفقَد منها جزء في (P_{cu1}) وجزء آخر في (P_{core}).

P_{cu1}	المفاقيد النحاسية في ملفّات العضو الثابت على شكل حرارة
P_{core}	المفاقيد الحديديّة في القلب الحديديّ للعضو الثابت بسبب وجود تيّارات دوامية
P_s	مقدار القدرة المفقودة في العضو الثابت ككل مساوية لمجموع المفاقيد النحاسية

أما الجزء المتبقي من القدرة فإنّه سينتقل عبر الفجوة الهوائيّة الموجودة بين العضو الثابت والعضو الدّوّار، الذي يرمز له بالرمز (P_g)، وبالتالي فإنّ القدرة عبر الفجوة الهوائيّة (P_g) ستفقد جزءاً آخر منها، وهي (P_{cu2}).

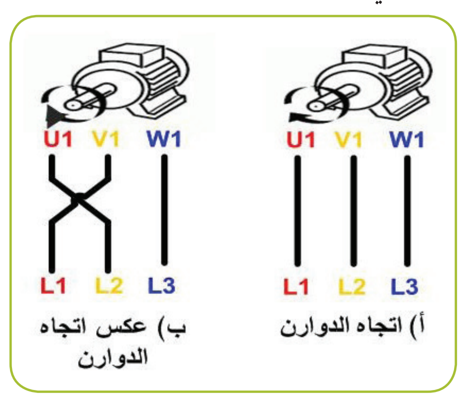
P_{cu2}	المفاقيد النحاسية للعضو الدّوّار على شكل حرارة في ملفّات العضو الدوّار
P_g	القدرة عبر الفجوة الهوائيّة

وتتبقى مما سبق قدرة كهربائيّة تتحوَّل إلى قدرة ميكانيكيّة تسمى القدرة الميكانيكيّة المتحولة، ويرمز لها بالرمز (P_m)، والتي لا تلبث أن تفقد جزءاً منها على شكل قدرة ضائعة في الاحتكاك، يرمز لها بالرمز (P_f)؛ ليتبقى عندها القدرة الميكانيكيّة الَّتي تظهر على عمود الدوران للمحرّك، ويرمز لها بالقدرة الميكانيكيّة الخارجة، التي يرمز لها بالرمز (P_2) أو (P_{out})، التي يجب أن تكون قادرة على إدارة الحمل بعزم يرمز له بالرمز (τ_{Load}).

P_f	القدرة الضائعة في الاحتكاك
P_{out}	القدرة الميكانيكيّة الَّتي تظهر على عمود الدوران للمحرّك، ويرمز لها بالقدرة الميكانيكيّة الخارجة

10- عكس الحركة في المحرّك الحثّيّ ثلاثيّ الطور:

يتم عكس حركة المحرّكات في المحرّك الحثّيّ ثلاثيّ الطور عن طريق تبديل فاز مكان فاز على نقاط التوصيل بالملفّات في روزتة التوصيل الخارجيّة للمحرّك، كما في الشكل (13).



شكل (13): عكس الحركة في المحرّك الحثّيّ ثلاثيّ الطور

11- حساب تيّار المحرّك الحثّيّ ثلاثيّ الطور: يمكن حساب تيّار الحمل المتردّد ثلاثيّ الطور من المعادلة الآتية:

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_L \times \cos\theta}$$

- يمكن معرفة تيّار الحمل الكلّيّ (الاسميّ) للمحرّكات من خلال اللّوحة الاسميّة كما في الشكل (7) السابق.
- يمكن حساب تيّار الخط (لكل كيلو وات) المارّ في المحرّكات ثلاثيّة الطور (بشيء من التقريب) وعلى فرض أن جهد الخط ($V_L = 380V$)، وكذلك على اعتبار أن معامل القدرة للمحرّكات يساوي تقريباً ($\cos\theta = 0.75$) من المعادلة الآتية:

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_L \times \cos\theta} = \frac{P}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.75}$$

أي أن كلّ واحد كيلو وات (1KW) يسحب تيّاراً مقداره (2A):	**1KW = 2A**
وأن كلّ واحد حصان (1HP) يسحب تيّاراً مقداره (1.5A):	**1HP = 1.5A**

إذن محرّك ثلاثيّ الطور يعمل على جهد مقداره (380V) وقدرته (20HP) يسحب تيّاراً مقداره: 30A = (20×1.5).

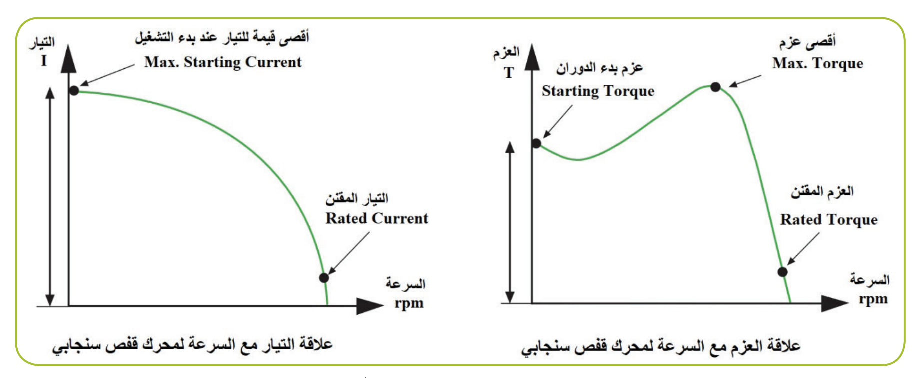
وهناك جداول خاصّة لتحديد مقدار التيّار الذي يسحبه المحرّك وعلاقته بقدرة المحرّك، سواء بالكيلووات أو بالحصان الميكانيكيّ.

12- طرق بدء الحركة للمحرّكات الحثّيّة (Three Phase Induction Motor Starter):

نشاط: قم بتشغيل محرّك ثلاثيّ الطور ذي قفص سنجابي بتوصيلة ستار أو دلتا حسب لوحة بيانات المحرّك.

المحرّك الحثّيّ عند بداية دورانه يسحب تيّار بدء عالياً جدّاً تتراوح قيمته بين (6 - 8) أضعاف تيّار التشغيل العاديّ؛ وذلك بسبب العزم المطلوب من المحرّك في البداية للتغلب على عزم القصور الذّاتيّ الكبير للحمل الميكانيكيّ، وهذا التيّار العالي يتسبب في عِدّة مشاكل منها: كما في الشكل (14).

- حدوث هبوط في جهد الأجهزة المشتركة مع المحرّك في نفس الخط .
- رفع درجة حرارة ملفّات المحرّك؛ مما قد يؤدّي مع التكرار إلى انهيار المادة العازلة.
- تحميل على الموصلات والقواطع وأجهزة الحماية بتيّار أكبر من التيّار المقنن.



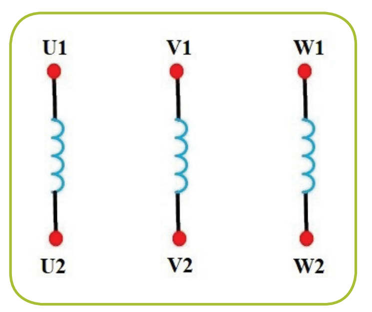
شكل (14): علاقة سرعة المحرّك الحثّيّ مع التيّار والعزم

ولذلك كان لا بد من اتخاذ الاحتياطات اللازمة للحد من قيمة تيّار بدء الحركة خصوصاً في المحرّكات الكبيرة الّتي تزيد قدرتها عن (5KW)، وتوجد عِدّة طرق للحد من تيّار البدء، وهذه الطرق تعتمد إما على خفض الجهد، أو زيادة مقاومة المحرّك أثناء فترة بدء الحركة، وفيما يأتي هذه الطرق:

1. طريقة التوصيل مباشرة على الخط (Direct on Line Starter)
2. استخدام محوّل ذاتي (Auto - Transformer Starter)
3. التشغيل بواسطة توصيلة ستار- دلتا (Star/Delta)
4. استخدام أجهزة بدء الإلكترونيّة (البدء الناعم) (Soft Starter)
5. التشغيل بواسطة مبدّل التردّد (الإنفيرتر) (Frequency Converter Starting)

أ- طريقة التوصيل مباشرة على الخط (Direct on Line Starter - DOL):

هو أبسط الأنواع، وتستخدم هذه الطريقه عادة مع المحرّكات الحثية ذوات القفص السنجابي قليلة القدرة (أقل من 5KW)، وهذا النوع من المحرّكات يحتاج إلى ثلاثة ملفّات متماثلة لها قيمة مقاومة متساوية، ويُبيّن الشكل (15) رسماً توضيحياً لهذه المجموعات، فقد تمَّ ترميز بدايات الملفّات (U1،V1،W1)، ونهاياتها (U2،V2،W2).



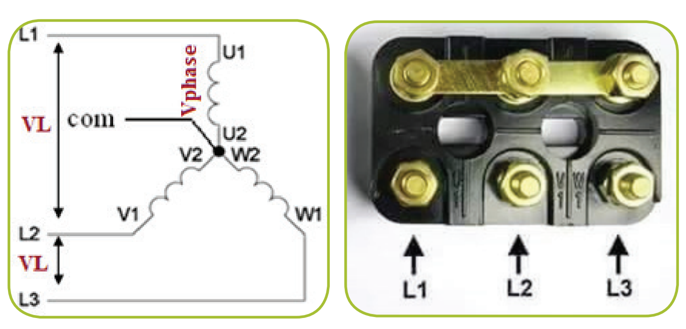
شكل (15): مجموعة ملفّات المحرّكات ثلاثيّة الطور

ويمكن توصيل ملفّات العضو الساكن للمحرّك الحثّيّ ثلاثيّ الطور بطريقتين هما:

- **توصيلة ستار (Y)، كما في الشكل (16):**

» يتم توصيل الأطراف (U2،V2،W2) معاً، وتوصل الأطراف (U1،V1،W1) بالمصدر الكهربائيّ (L1، L2، L3) أو العكس.

» في توصيلة ستار يعمل المحرّك على أعلى جهد مسجل على اللّوحة الاسميّة للمحرّك ويسحب أقل تيّار.

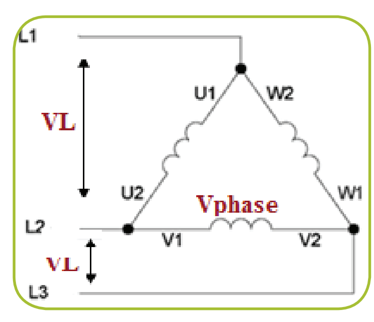


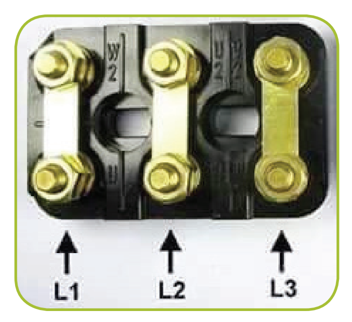
شكل (16): ملفّات محرّك موصولة ستار (Y)

- **توصيلة دلتا (Δ)، كما في الشكل (17):**

» يتم توصيل نهاية كلّ ملفّ مع بداية الملفّ التالي، وتوصل البدايات أو النهايات بالمصدر الكهربائيّ (L1، L2، L3).

» في توصيلة دلتا يعمل المحرّك على أقل فولت مسجل على اللّوحة الاسميّة للمحرّك ويسحب أعلى تيّار.





شكل (17): ملفّات محرّك موصولة دلتا (Δ)

- **جهد التغذية للمحرّك:** تعمل المحرّكات الحثّيّة ثلاثيّة الطور عند جهدين مختلفين الفرق بينهما حسب المعادلة الآتية:

$$V_{Star} = V_{Delta} \times \sqrt{3}$$

وعلى سبيل المثال (220V/380V) أو (380V/660V)، وفي كلّ الحالات إذا كانت قيمة جهد المصدر الذي سيعمل عليه المحرّك هي القيمة الأعلى يوصل المحرّك ستار، وإذا كان الأقل يوصل دلتا.

مثال على لوحة بيانات محرّك:

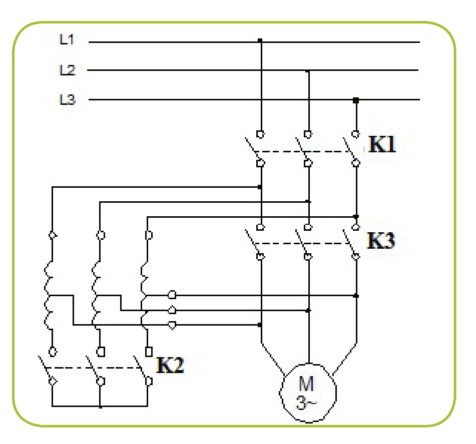
من لوحة بيانات المحرّك في الشكل (7) السابق نلاحظ أن جهد تشغيل المحرّك هو (Δ/Y) (230V/400V)، فإذا كان جهد التغذية ثلاثيّ الطور المتوفر يساوي (230V) يتمّ توصيل ملفّات المحرّك على شكل دلتا (Δ)، وإذا كان يساوي (400V) يتمّ استخدام توصيلة ستار (Y)، علماً أن جهد المصدر الثلاثيّ الطور المتوفر في فلسطين هو (380V)، فهذا المحرّك سوف يعمل على توصيلة ستار (Y).

ملاحظات:

- قيم الجهد المسجلة على لوحة بيانات محرّكات الثلاثة فاز هي قيمة فرق الجهد بين الثلاث فازات، وليس واحد فاز.
- إذا كانت قيمة مصدر الجهد لا تساوي قيمة الجهد من القيم المسجلة على لوحة بيانات المحرّك، فلا يمكن تشغيل المحرّك على هذا المصدر مباشرة، ولكن يجب وضع محوّل ثلاثة فاز يتغذى بقيمة المصدر، ويعطي قيمة جهد المحرّك المطلوبة.
- في توصيلة ستار إذا حدث خطأ، وتم جمع بدايتين مع نهاية، أو نهايتين مع بداية، فعند توصيله بالتيّار سيعمل بصورة خاطئة، ويسحب شدة تيّار أعلى من الطبيعي، ولا يستطيع أن يأخذ سرعته ويحترق. ولذلك فعند إعادة لفّ أيّ محرّك ثلاثة فاز يجب تمييز الثلاث بدايات عن الثلاث نهايات بأي طريقة.
- إذا كان يجب توصيل المحرّك ستار، وتم توصيله دلتا بنفس فولت ستار فسيؤدّي إلى احتراق المحرّك.
- إذا كان يجب توصيل المحرّك دلتا، وتم توصيله ستار بنفس جهد دلتا فسيعمل المحرّك بنصف قدرته تقريباً، فإذا كان يعمل من دون حمل، أو بأقل من نصف الحمل فلن يحدث ضرر، أما إذا تمَّ تحميل المحرّك بالحمل كاملاً فسيؤدّي ذلك إلى احتراق المحرّك.

ب- استخدام محوّل ذاتي (Auto - Transformer Starter):

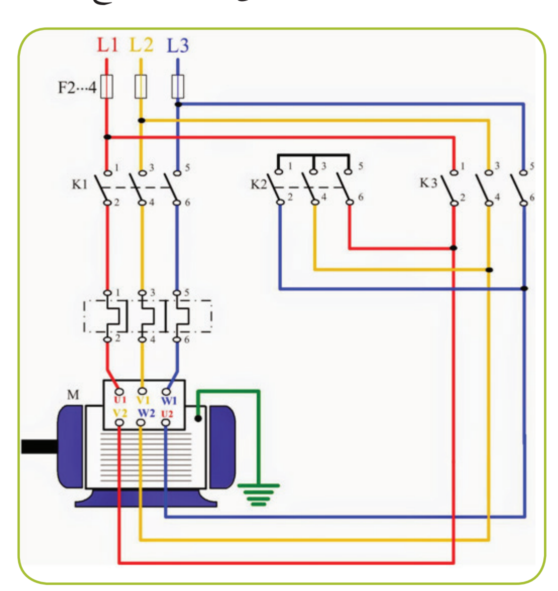
في هذه الطريقة يتمّ توصيل أطراف العضو الثابت إلى محوّل ذاتي ثلاثيّ الطور، فيخفض الجهد المسلط على ملفّات العضو الثابت للمحرّك، وبالتالي تخفيض تيّار البدء. وبعد أن يأخذ المحرّك سرعته الكاملة (بعد حوالى 10 ثوانٍ) يتمّ إلغاء عمل المحوّل، ويتمّ تحميل المحرّك بالجهد الكلي، وتُعَدّ هذه الطريقة مثاليّة؛ حيث لا يوجد قدرة مفقودة وعزم بدء عالٍ يصل إلى حوالي (70%)، ولكن تكلفته عالية، وعادة يستخدم في التطبيقات التي تحتاج إلى عزم بدء دوران عالٍ، كما في الشكل (18).



شكل (18): استخدام محوّل ذاتي

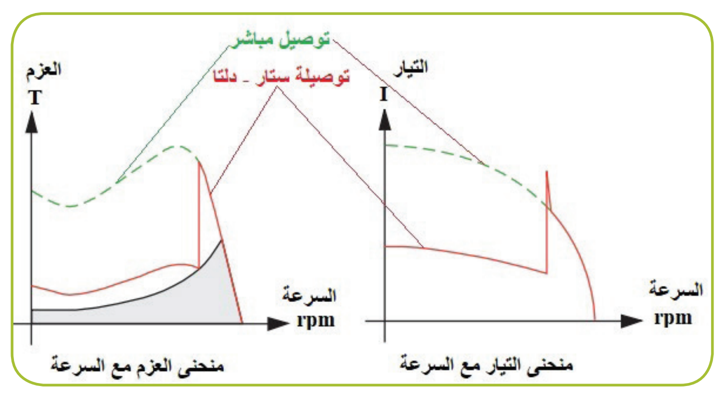
ج- التشغيل بواسطة توصيلة ستار - دلتا (Star/Delta):

- تُعَدّ طريقة ستار دلتا من أهم الطرق لبدء دوران محرّك، وتستعمل هذه الطريقة للمحرّكات الَّتي تزيد قدرتها عن (7 حصان)، ويجب أن يعمل المحرّك الحثّيّ أصلاً بتوصيلة وجهد دلتا حتى يتمّ استخدام هذه الطريقة.
- يبدأ المحرّك الدوران بتوصيلة ستار (Y) ولكن بجهد دلتا المنخفضة (تعمل توصيلة ستار على خفض الجهد بمقدار (57%) وبالتالي التيّار)، وبعد عِدّة ثوانٍ - وهي المدة اللازمة لتجاوز تيّار البدء - يتمّ التحويل إلى توصيلة دلتا (Δ).
- هذه الطريقة مناسبة للمحرّكات ذات الأطراف الستة، ويجب أن تكون أطراف الملفّات الستة: البدايات (U1، V1، W1) والنهايات: (U2، V2، W2) ظاهرة على لوحة تجميع المحرّك، كما في الشكل (19).



شكل (19): دائرة القدرة لمحرّك بطريقة (ستار/ دلتا)

ويُبيِّن الشكل (20) منحنيات السرعة مع كلّ من العزم والتيّار لتوصيلة (ستار/دلتا).



شكل (20): منحنيات السرعة مع كلّ من العزم والتيّار لتوصيلة (ستار/ دلتا)

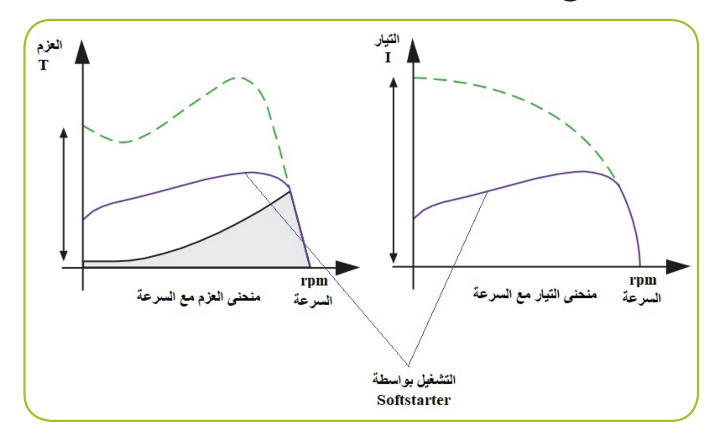
د- استخدام أجهزة البدء الإلكترونيّة (البدء الناعم) (Soft Starter):

ظهرت حديثاً أجهزة لبدء حركة المحرّكات الحثية تستخدم تقنية إلكترونيّات القدرة، هذه الأجهزة تعمل على التحكّم في بدء حركة المحرّك، وطريقة وقوف المحرّك من دون تغيّرات مفاجئة أو إجهاد ميكانيكيّ؛ مما يجعله مناسباً للاستخدام في بعض التطبيقات مثل الأحزمة الناقلة والمِضخّات المائية وبعض أنواع الرافعات، وهي تعتمد على فكرة تقليل الجهد المسلط على ملفّات المحرّك لحظة البدء من أجل تقليل تيّار البدء، وبالتالي تخفيض تيّار بدء المحرّك وعزمه، كما في الشكل (21).



شكل (21): جهاز (Soft Starter) من نوع (ABB)

ويُبيِّن الشكل (22) منحنيات السرعة مع كلّ من العزم والتيّار لتوصيلة (Soft Starter).



شكل (22): منحنيات السرعة مع كلّ من العزم والتيّار لتوصيلة (Soft Starter)

هـ- التشغيل بواسطة مبدل التردّد (الإنفيرتر) (Variable Frequency Drive - VFD):

هو جهاز متكامل للتحكم بسرعة المحرّك أثناء التشغيل بالإضافة إلى التحكّم بعمليّة بدء التشغيل والإيقاف للمحرّكات الَّتي تعمل على التيّار المتردّد، مهما كانت قدرة المحرّك، حيث توجد أجهزة تبدأ من (0.5 - 120Hp)، حيث يتمّ التحكّم بالتردّد والجهد، كما في الشكل (23). وسوف يتمّ التطرق لهذا الموضوع بشيء من التفصيل لاحقاً في فصل قادم بإذن الله.



شكل (23): جهاز (FVD - L) من نوع (Delta)

ملاحظة: هناك طرق بدء تقليديّة أخرى، ولكنها غير مستعملة حالياً، مثل إضافة مقاومة ثلاثيّة الطور على التوالي مع ملفّات العضو الثابت أو ملفّات العضو الدوار، حيث تؤدي هذه المقاومة إلى خفض الجهد المسلط على العضو الثابت، وبالتالي يقل تيّار البدء، ويتمّ التخلص من هذه المقاومة تدريجياً أثناء فترة البدء؛ حتى تلغى تماماً بوصول المحرّك إلى سرعة المقنّنة.

يُبيِّن الجدول (3)، المشاكل الشائعة عند تشغيل وإيقاف المحرّكات الحثّيّة بطرق مختلفة.

جدول (3): مقارنة بين المشاكل الشائعة عند تشغيل وإيقاف المحرّكات الحثّيّة بطرق مختلفة

نوع المشكلة	طريقة التشغيل للمحرّك			
	تشغيل مباشر (DOL)	ستار - دلتا (Y/Δ)	مبدل التردّد (VFD)	سوفت ستارتر (Soft Starter)
انزلاق في الأحزمة الناقلة للحركة، وحمل زائد على البيل (Bearings)	نعم	متوسط	لا	لا
تيّار بدء تشغيل عالٍ	نعم	لا	لا	لا
إجهاد وتمزق لصندوق التروس والعتاد	نعم	نعم (وجود حمل)	لا	لا
تضرر المنتجات والبضائع خلال عمليّة توقف الحركة للنواقل	نعم	نعم	لا	لا
حصول المطرقة المائية في الأنابيب عند التوقف	نعم	نعم	أفضل حل	يتم تقليلها
تغيّرات انتقاليّة حادة ومفاجئة	نعم	نعم	لا	لا

13- حماية المحرّك الكهربائيّ:

نشاط: قم بتشغيل محرّك ثلاثيّ الطور ذي قفص سنجابي مستخدماً وسائل الحماية المناسبة.

إن التيّار الكهربائيّ ثلاثيّ الطور هو العنصر الأساسيّ في تغذية اللوحة الكهربائيّة الصناعيّة، التي بدورها تقوم بتشغيل الآله الكهربائيّة عن طريق إيصال التيّار إلى المحرّك الكهربائيّ، وبما أنه من المتوقّع دائماً حدوث خلل ما في الشبكه الكهربائيّة (هبوط التوتر - ارتفاع التوتر - انقطاع أحد الأطوار - عكس في الأطوار) وما إلى ذلك من الأعطال المتوقّعة وأحياناً المفاجئة.

أو حدوث خلل ما في المحرّك الكهربائيّ (خلل في ملفّات المحرّك - فصل أحد الأطوار من لوحة توصيل المحرّك - تماس أحد الملفّات مع جسم المحرّك - أو أيّ خلل مكانيكي في المحرّك يوثر علي عمل المحرّك)، من أجل ذلك يجب تأمين الحماية للمحرّك الكهربائيّ من كلّ ما يؤثر على عمل المحرّك، سواء كان هذا التأثير من المحرّك نفسه أو من الشبكة الكهربائيّة، ولذلك لا بد من بعض الإجراءات الّتي تؤمن الحماية والوقاية الكهربائيّة فيما لو حدث أيّ من الأسباب الّتي سبق ذكرها:

أ- القاطع التفاضلي الفرقي (Earth Lekage):

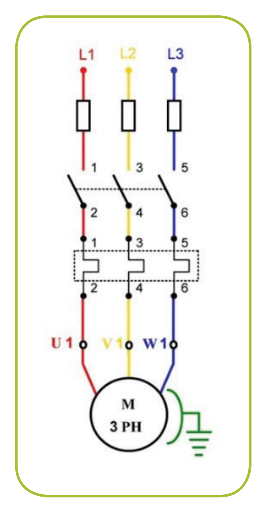
للحماية من خطر الصدمة الكهربائيّة، والقاطع الصناعيّ هو رباعي الأقطاب، ويختلف أيضاً من ناحية قيمة الفصل فيكون من (300mA) وما فوق، وهذا يستعمل للأحمال الصناعيّة؛ وبذلك يكون تمَّ تأمين الحماية للعامل من خطر التكهرب، فيما لو كان في المحرّك بتماس مباشر مع التيّار عن طريق المحرّك، كما في الشكل (24).



شكل (24): قاطع تفاضلي صناعيّ رباعي الأقطاب

ب- الحماية بتركيب القاطع الحراريّ (OverLoad):

تستخدم هذه الحماية للحماية من زيادة شدة التيّار عن القيمة المقرّرة، والشكل (25) يوضّح هذه الطريقة:

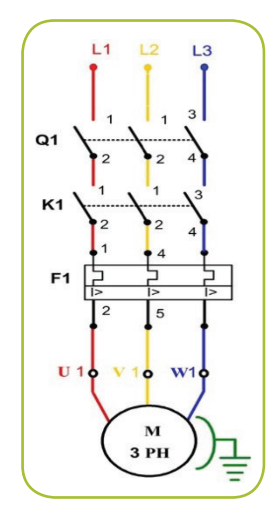


شكل (25): حماية المحرّك بتركيب القاطع الحراريّ

ج- الحماية باستخدام القاطع الحراريّ المغناطيسيّ:

وتستخدم للحماية من زيادة الحمل الدائم وضد ارتفاعات التيّار العالية، حيث يوصل القاطع الحراريّ المغناطيسيّ على خطوط التغذية، ويتصل مع المحرّك الكهربائيّ، كما في الشكل (26).





شكل (26): حماية المحرّك بتركيب القاطع الحراريّ المغناطيسيّ

د- قاطع حمايه ضد انقطاع أحد الأطوار أو اختلاف تتابع الأطوار (Phase Sequence/Phase Failure):

إذا حدث انعكاس في ترتيب أحد الفازات، نجد أن اتجاه دوران المحرّك ينعكس؛ مما يؤدّي إلى حدوث تلف في الحمل الميكانيكيّ الذى يديره المحرّك، أما إذا فصل أيّ من الفازات الثلاث:

» **إذا كان المحرّك يعمل:** سيستمر في الدوران، ولكن سيسخن، ويمكن أن يحترق المحرّك، إذا لم يكن عليه حماية أوفرلود مناسبة.

» **إذا كان المحرّك لا يعمل:** نجد عند تشغيله حدوث صوت طنين، وعدم التمكن من الدوران واحتمال احتراقه، كما في الشكل (27).

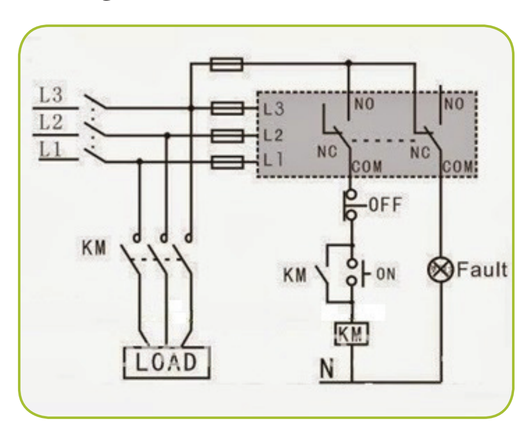


شكل (27): جهاز Phase Sequence

- توصيل جهاز (Phase Sequence)، كما في الشكل (28):

- يتمّ توصيل الفازات الثلاث (L1، L2، L3) في المكان المخصّص لها في الجهاز (على التوازي مع كونتاكتور المحرك، أو بشكل عام على التوازي مع الحمل) وأحياناً يتمّ توصيل النيوترال.

- عادة يحتوى جهاز (Phase Sequence) على نقطتين إحداهما من النوع (N.O) والأخرى (N.C)، أو أربع نقاط اثنتين (N.O) واثنتين (N.C) وعادة تتصل كلّ نقطة (N.O) مع نقطة (N.C) بتوصيلة (Common) .
- يتمّ توصيل نقطة مفتوحة (N.O) من جهاز (Phase Sequence) توالٍ مع ملفّ كونتاكتور الحمل، ويمكن توصيل نقطة مغلقة (N.C) مع لمبة بيان لتوضيح حدوث مشكلة (Phase Sequence) أو (Phase Failure) (وهذه التوصيلة غير ضرورية، حيث عادة يحتوى الجهاز نفسه على لمبة بيان).



شكل (28): توصيل جهاز Phase Sequence

- كيفيّة عمل جهاز (Phase Sequence):

في الوضع الطبيعي وعند انتظام الفازات الثلاثة وتواجدها بالترتيب يبدل جهاز (Phase Sequence) نقاطه، أيّ تغلق النقطة المفتوحة المتّصلة بملف الكونتاكتور، ويمكن تشغيل المحرك بأمان.
عند حدوث انعكاس أو تبديل في الفازات أو عند سقوط فازة ترجع النقطة المتّصلة مع ملفّ الكونتاكتور إلى وضعها الطبيعي (أي مفتوحة)؛ لذلك يفصل الكونتاكتور في الحال، ويقف المحرّك لحمايته وحماية الحمل الميكانيكيّ المتصل به.

- مواصفات جهاز (Phase Sequence - Failure Relay):

- جهد المحرّك أو الحمل المراد حمايته.
- قيمه IP Code للجهاز التى تدلّ على درجة الحماية من دخول المياه أو الأتربة إلى الجهاز.
- أمبير دائرة التحكّم المراد حمايتها، حيث هناك حدّ للأمبير الذى تتحمّله نقاط الجهاز.

ملحوظة: إذا كان تيّار دائرة التحكّم كبيراً ولا يتحمّلها الجهاز، فيتم توصيل نقطة الجهاز المفتوحة (N.O) مع ملفّ ريلاي، وتوصيل نقطة (N.O) من الريلاي توال من الكونتاكتور لحمايته لحل مشكلة الأمبير العالي.

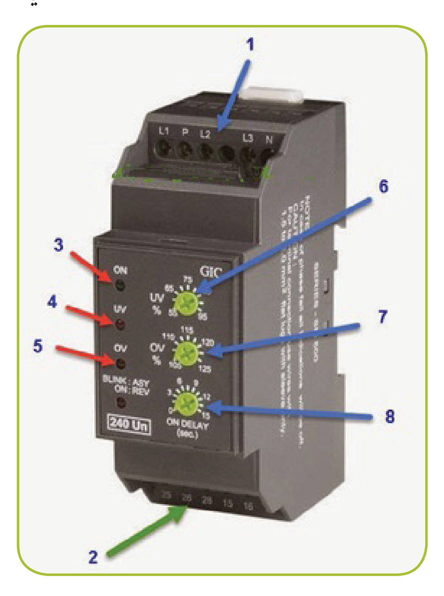
هـ- ريلاي حماية من تغيير قيمة الجهد (Voltage Protection Relay):

يستخدم هذا الجهاز في حماية الدائرة من الزيادة أو النقصان في الجهد عن القيمة المقنّنة بنسبة معينة، وذلك عن طريق تبديل نقاطه، وأيضاً يستخدم بصفة أساسيّة في دائرة (ATS)، فإذا وصل للمحرّك قيمة جهد أقل من تلك القيمة

المصممة لتشغيله سيعمل بقدرة أقل من قدرته، فإذا تمَّ تحميله حملاً كاملاً، فسيكون ذلك إجهاد على المحرّك يرفع درجة حرارة ملفاته؛ مما يؤدّي إلى احتراقه.

أما إذا وصل للمحرّك قيمة جهد أعلى من المصمم عليها فستزيد قدرته، لكن في نفس الوقت سيسحب تيّاراً أعلى، وبالتالي ترتفع درجة حرارة ملفاته، حتى إذا عمل من دون حمل ومع الوقت يؤدّي ذلك أيضاً إلى احتراقه، والشكل (29) يُبيِّن ريلاي الحماية من تغيير قيمة الجهد ومدلول كلّ عنصر عليه:

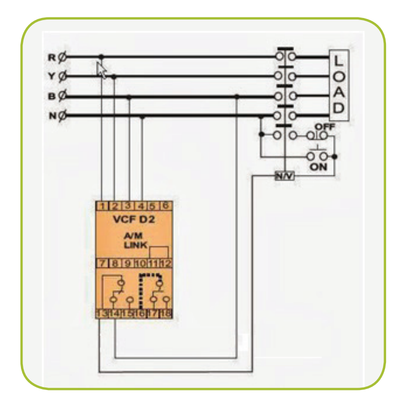
1- مكان توصيل الفيزات الثلاثة (L1، L2، L3) وتوصيل Neutral.
2- مكان توصيل نقاط التحكّم.
3- لمبة بيان تدلّ على انتظام قيمة الجهد وعمل الدائرة بشكل طبيعي.
4- لمبة بيان تضيء عند حدوث انخفاض في الجهد (UV) حسب القيمة المعيرة.
5- لمبة بيان تضيء عند حدوث زيادة في الجهد (OV) حسب القيمة القيمة المعيرة.
6- مؤشر لتحديد النسبة التى عندها يبدل الجهاز نقاطه، وتكون المعايرة كنسبة من الجهد المقنن.
7- مؤشر آخر لتحديد النسبة التى يبدل الجهاز نقاطه عندها، وأيضاً تكون نسبة من الجهد المقنن.
8- مؤشر يستخدم في تحديد زمن التأخير والذى إذا استمر هبوط أو زيادة الجهد خلاله سوف يقوم الجهاز بتبديل نقاطه،
9- وهذا المؤشر هام جدّاً، حيث يجب أن لا يعمل الجهاز عند أيّ تغيّر لحظي عابر للجهد.



شكل (29): ريلاي الحماية من تغيير قيمة الفولت

- **كيفيّة توصيل جهاز الحماية من ارتفاع الجهد وانخفاضه**، كما في الشكل (30):

- توصيل جهاز الحماية بالفازات الثلاث والنيوترال.
- أيضاً تمَّ توصيل نقطة مغلقة (N.O) منه على التوالي مع ملفّ الكونتاكتور الخاص بتشغيل الحمل.



شكل (30): توصيل جهاز الحماية من ارتفاع الجهد وانخفاضه

- كيفيّة عمل جهاز (Under and Over Voltage Relay):

في الوضع الطبيعي، تتحوَّل النقطة المفتوحة (N.O) إلى مغلقة ويمكن تشغيل المحرّك، وعند انخفاض الجهد أو ارتفاعه بنسبة معينة يقوم جهاز الحماية (Under and Over Voltage Realy) بتبديل نقاطه، فتتحوَّل النقطة المغلقة (N.C) إلى مفتوحة (N.O) وتفصل الحمل لحمايته، وعند انتظام الجهد مرة أخرى ورجوعه إلى قيمته المقنَّنة، ترجع النقطة إلى مغلقة (N.C) مرة أخرى، ويمكن تشغيل الحمل مرة أخرى.

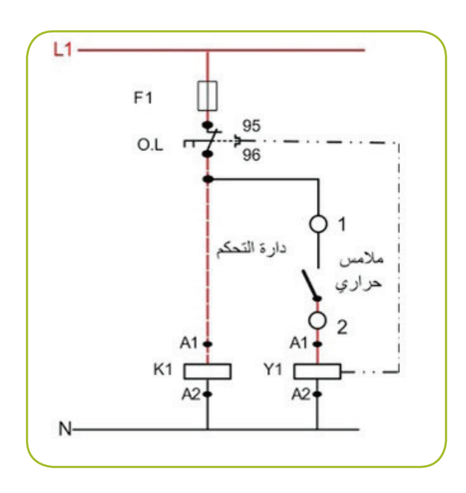
- مواصفات جهاز (Under and Over Voltage Relay):

- معرفة الجهد المقنن للجهاز ومعرفة أقصى أمبير تتحمله نقاطه.
- يجب معرفة (IP Code) الخاص به ودلالته.
- يجب معرفة حدود أقصى وأقل درجة حرارة يعمل فيها الجهاز بكفاءة.

ملحوظة: توجد بعض الأجهزة الَّتي تجمع في عملها بين (Phase Sequence) وأيضاً (Under and Over Voltage Protection)، وهذه الأجهزة عمليّة جدّاً، ويفضل استعمالها؛ لأنّها تحمي المحرّك من أكثر من خطر.

و- الحماية باستخدام مِجَسّ المزدوجة الحراريّة (تفصل بواسطة مُرحّل لزيادة الحمولة الحراريّة):

يتمّ وضع مِجَسّ مزدوجة حرارية أو أكثر للكشف عن ارتفاع درجة حرارة المحرّك عن الحد المسموح به، فعند ارتفاع درجة الحرارة عن الحد المسموح به يغلق الملامس الحراريّ (1 - 2)، فيعمل ملفّ الريلاي (Y1) المربوط ميكانيكيّاً مع ملامس المُرحّل الحراريّ (95 - 96) فتفتح ملامسة المُرحّل الحراريّ، وبالتالي يتمّ فصل التيّار عن ملفّ المفتاح التلامسي (K1)، فيفصل المحرّك، كما في الشكل (31).

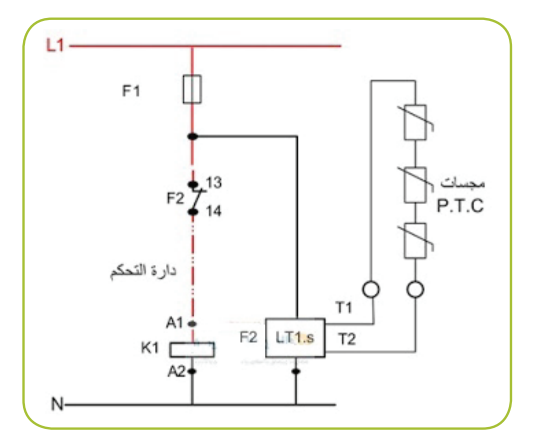


شكل (31): دارة حماية محرّك باستخدام مِجَسّ المزدوجة الحراريّة

ز- الحماية باستخدام مقاومات ذات المعامل الحراريّ الموجب (Positive Temperature Coefficient - PTC)

تزوّد بعض المحرّكات الكهربائيّة بمقاومة حرارية (PTC)، وهي عبارة عن مقاومة تتغيّر قيمتها بتغيّر درجة الحرارة، فكلما زادت الحرارة ارتفعت قيمة مقاومتها. لا تتَّصل أطراف مقاومة (PTC) بدارة التحكّم مباشرة، ولكن يتمّ وصلها بدارة إلكترونيّة خاصّة (LT1.s) تستشعر التغيّر في قيمة المقاومة، فعندما ترتفع درجة حرارة الملفّات تزداد قيمة مقاومة المجسّات، وعندما تزيد المقاومة عن حدّ معين يفتح ملامس المُرحّل الحراريّ الموجود ضمنها، وبالتالي يفتح الملامس (F2) (13-14) مؤدياً إلى فصل التيّار عن المحرّك الكهربائيّ، ويعاد الملامس إلى وضعه الطبيعي، إما يدوياً أو آلياً، حسب نوع الدارة بعد أن تبرد ملفّات المحرّك، كما في الشكل (32).

توضع مقاومة (PTC) بداخل المحرّك ملامسة لملفاته، وغالباً ما تكون ثلاثة مجسّات، كلّ مِجَسّ يلامس ملفّات طور، ويتمّ وصلها معاً بالتوالي، ويخرج منها طرفان على لوحة المحرّك الاسميّة. أما المحرّكات أحاديّة الطور فيوضع بداخلها مِجَسّ (PTC) واحد.



شكل (32): دارة حماية محرّك باستخدام مِجَسّ (PTC)

ح- جهاز تحديد اتجاه دوران الأطوار:

تتَّضح أهمِّيَّة معرفة اتجاه دوران الأطوار في دارات التيّار المتناوب ثلاثيّة الأطوار، حيث يساعد هذا الجهاز على التوصيل الصحيح لكثير من أجهزة القياس الكهربائيّة لكي يتشابه ترتيب الأطوار الثلاثة فيها جميعها، وكذلك تبرز أهمِّيَّة هذا الجهاز أيضاً لإتمام عمليّة ربط المولّدات الكهربائيّ بقضبان التوزيع الرئيسة، وكذلك هو الحال أيضاً في تحديد اتجاه دوران المحرّكات الكهربائيّة ثلاثيّة الطور، حيث إنَّ اختلاف ترتيب (تتابع) الأطوار يؤدّي إلى اختلاف اتجاه دورانها؛ الأمر الذي قد يؤدّي إلى عواقب وخيمة في أداء تلك المحرّكات، إذا ما تمَّ تشغيلها باتجاه دوران خاطئ، فإذا كان اتجاه دوران المحرّكات عكس المطلوب، فإنّ تبديل طور مكان آخر يحل الأمر.

ويُبيِّن الشكل (33) جهاز تحديد اتجاه دوران الأطوار الثلاثة وطريقة توصيله، وهذا الجهاز مهم جدّاً لمن يعمل في صيانة الأعطال الَّتي قد تطرأ على عمل شبكة الضغط العالي؛ نتيجة انقطاع مفاجئ في خطوط الشبكة العامّة للكهرباء خاصّة عند إعادة وصلها للمستهلك.





الشكل (33): جهاز تحديد اتجاه دوران الأطوار الثلاثة (RST)

5 - 4 الموقف التعليميّ الرابع: تشغيل محرّك تيّار متناوب أحاديّ الطور

وصف الموقف التّعلّميّ:

حضر صاحب مزرعة إلى مؤسسة صيانة المصانع يريد أن يركّب مِضَخَّة مياه تعمل بجهد (1 فاز) لرفع المياه من البئر إلى الخزان، ويريد من الفنِّيّ المُختَصّ أن يُحدّد له مواصفات المِضَخَّة، وأن يشتري له كلّ ما يلزم لتركيب المِضَخَّة وتوصيلها وتشغيلها.

العمل الكامل:

خطوات العمل	وصف الموقف الصّفّيّ	المنهجيّة (إستراتيجيّة التّعلّم)	الموارد حسب الموقف الصّفّيّ
أجمع البيانات، وأُحللها	• أجمع البيانات من صاحب المزرعة عن طبيعة الخلل. • أجمع بيانات عن: - تركيب محرّكات التيّار المتناوب أحاديّة الطور. - اللَّوحة الاسميّة للمحرّك وتفسير بياناتها. - أنواع محرّكات التيّار المتناوب أحاديّة الطور ومقرّراتها الأمبيريَّة. - العلاقات الكهربائيّة الرياضية البسيطة لحساب الأحمال لمحرّكات المتناوب أحاديّة الطور. - طرق تشغيل محرّكات التيّار المتناوب أحاديّة الطور، وطرق بدء الحركة فيها والتحكّم في سرعتها. - شروط السلامة المهنيّة المتعلّقة بتركيب المحرّكات الكهربائيّة أحاديّة الطور وتوصيلها وتشغيلها. - وسائل الحماية والسلامة المهنيّة.	• البحث العلميّ. • الحوار والمناقشة.	• وثائق (كتالوج). • الشبكة العنكبوتية.
أُخطّط، وأُقرّر	• أصنف البيانات وتبويبها. • أحدد الأدوات والعِدَد والأجهزة اللازمة للعمل. • أحدد خطوات العمل: - مقارنة قدرة المحرّك الكهربائيّ مع الأحمال الكهربائيّة المتَّصلة به. - مراجعة مخطّط لوحة توصيل المحرّك مع اللَّوحة الاسميّة للمحرّك. - فحص المحرّك كهربائيّاً وميكانيكاً. - اختيار الحساسيّة المناسبة للقاطع حسب قدرة المحرّك المستخدم وطبيعة الحمل المتصل به (صندوق تروس .....بكرة). • إعداد جدول زمنيّ للتنفيذ.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• قرطاسيّة. • وثائق. • نموذج الجدول الزمنيّ.

أُنفّذ	• استخدام أدوات السلامة المهنيّة وفقاً للمعايير الفنّيّة وأنظمة السلامة ذات الصلة. • استخدام العِدَد والأدوات المناسبة لعمليّة الفكّ والتركيب والتثبيت. • اتّباع مُخطّطات توصيل محرّكات التيّار المتناوب. • التزام وسائل الحماية والسلامة المهنيّة أثناء العمل. • فحص مصدر الجهد المغذّي. • فحص وسائل الحماية والوقاية الكهربائيّة وقدراتها. • فحص ملفّات المحرّك للتأكُّد من صلاحيتها. • فحص أطراف توصيل المحرّك والكابلات المتصل به. • تثبيت المحرّك أحاديّ الطور في المكان المخصّص جيداً. • تمديد الكابلات الكهربائيّة المناسبة من مصدر الجهد. • توفير وسائل الحماية والتشغيل الكهربائيّة أحاديّة الطور. • توصيل أطراف المحرّك أحاديّ الطور مع كابل التغذية وتشغيله. • قياس تيّار الحمل أثناء عمل المحرّك أحاديّ الطور؛ للتأكُّد من مطابقته لمواصفات الشركة الصانعة.	• الحوار والمناقشة. • التعلّم التعاونيّ. • العصف الذهني.	• صندوق العِدّة. • القطع اللازمة لعمليّة التركيب والتشغيل والصيانة. • أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة.
أتحقّق	• التّحقّق من السلامة والاحتياطات الّتي تمَّ أخذها بعين الاعتبار أثناء فكّ المحرّك وتركيبه. • التّحقّق من تشغيل المحرّك حسب لوحة المحرّك الاسميّة. • التّحقّق من قيمة التيّار المسحوب من المحرّك أثناء العمل للتأكُّد من مطابقته لمواصفات المحرّك. • تقييم معامل الأمان للقواطع الّتي تمَّ أخذها بعين الاعتبار في تنفيذ المهمة. • التّحقّق من جودة العمل.	• الحوار والمناقشة. • التعلّم التعاونيّ.	• أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة.
أُوثّق، وأقدم	• إنشاء قوائم خاصّة بالعِدَد اليدويّة ووسائل القياس المستخدمة. • تحديد جدول زمنيّ للتسليم. • تسليم قوائم العمل لمسؤول الصيانة. • فتح ملفّ بالحالة.	• الحوار والمناقشة. • التعلّم التعاونيّ.	• جهاز حاسوب. • جهاز عرض. • قرطاسيّة.
أُقوم	• رضا صاحب المزرعة لما يتوافق مع طلبه. • المطابقة مع المواصفات والمعايير.	• الحوار والمناقشة. • البحث العلميّ.	• نماذج التقويم. • طلب الزبون.

الأسئلة:

1 ما الشكل الصحيح للقيام بتمديد كوابل توصيل المحرّكات الكهربائيّة؟

2 أوضح كيف يتمّ تركيب محرّكات التيّار المتناوب أحاديّة الطور وتوصيلها وتشغيلها وحمايتها؟

أتعلّم:

نشاط: فكّ محرّك أحاديّ الطور ذي مكثّف ومفتاح طرد مركزي لمعاينة أجزائه، وإعادة تركيبه.

أولاً- المحرّكات الحثّيّة أحاديّة الطور (Single Phase Induction Motor):

1- ملفّات المحرّكات الحثّيّة أحاديّة الطور:

إن محرّكات التيّار المتردّد أحاديّة الطور تحتوي على مجموعه واحدة من الملفّات في العضو الثابت، ونظراً لأن التيّار متردّد؛ فينتج مجالان متساويان متعاكسان؛ مما يؤدى إلى أن محصلة المجال المغناطيسيّ الدّوّار تساوي صفراً، والمحرّك لا يدور، ومن المعلوم أن المجال المغناطيسيّ الدّوّار الذي يجعل العضو الدّوّار فيها يدور (المحرّك يدور) لا يتولد إلا إذا كان هناك وجهان؛ أيّ (دائرتين) وبينهما زاوية كهربائيّة (°90)، ومن أجل التغلب على مشكلة بدء حركة هذه المحرّكات فإنّه يلزم إضافة ملفّ آخر ينشأ عنه مجال مغناطيسيّ يتأخر أو يتقدم بزاوية كهربائيّة (°90) (تسمى زاوية العزم)، تكفي لتوليد المجال المغناطيسيّ الدّوّار اللازم لحركة المحرّك يُسمّى ملفّ البدء، وبالتالي فإنّ المحرّك الحثّيّ أحاديّ الطور يحتوي على مجموعتين من الملفّات هما:

أ- المجموعة الأولى: الملفّات الرئيسية (ملفّات التشغيل Running Winding) (U1، U2):

- ذو مقاومة منخفضة (مثلا 7Ω).
- مساحة مقطع أسلاك أكبر (اسلاك سميكة).
- عدد لفّات أصغر.
- تشغل ثلثي (2/3) عدد المجاري.
- لا تنفصل عن الدائرة إلا في حالة فصل التيّار كلياً عن المحرّك (تعمل بشكل دائم).

ب- المجموعة الثانية: الملفّات المساعدة (ملفّات البدء/ التقويم Starting Winding) (Z1، Z2):

- ذو مقاومة عالية (مثلاً بحدود 16Ω - 12Ω).
- مساحة مقطع أسلاك أقل (أسلاك رفيعة).
- عدد لفّات أكبر.
- تشغل ثلث (1/3) عدد المجاري.
- توضع هذه الملفّات متقدمة أو متأخرة عن ملفّات التشغيل بزاوية مقدارها (°90) كهربائيّة، وذلك لتكوّن وجهاً آخر يساعد على إيجاد مجال مغناطيسيّ دائر (تعمل بشكل لحظي).

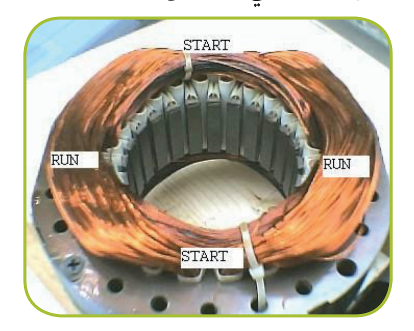
وعلى حسب نوع المحرّك الحثّيّ أحاديّ الطور فإنّ ملفّ البدء قد يظل موصولاً إلى المصدر أثناء التشغيل، وقد ينفصل بعد وصول المحرّك إلى سرعة قريبة من سرعة التشغيل المستقرّ، وهي حوالي (75%) من سرعة التشغيل.

2- تركيب المحرّكات الحثّيّة أحاديّة الطور:

أ- الأجزاء الرئيسية، وهي موجودة في كل أنواع المحركات الأحادية الطور:

- العضو الثابت، ويتكوّن من ثلاثة أجزاء أساسيّة، وهي:

- **الهيكل الخارجيّ (الإطار):** يصنع من الصلب (حديد الزهر) أو الألمنيوم ذو زعانف على سطحه الخارجيّ تعمل على تبريد الملفّات خلال الهواء المندفع من مروحة التبريد. ويستخدم الإطار لحمل الرقائق المكونة للقلب، ولتثبيت الغطاءين الجانبيين وصندوق لوحة التوصيل.
- **قلب العضو الثابت:** ويصنع من رقائق الصلب السليكوني المعزولة بعضها عن بعض بالورنيش، والمضغوطة، ويشق على محيطها الداخليّ مجارٍ طولية توضع بها ملفّات العضو الثابت.
- **ملفّات العضو الثابت:** وتصنع من أسلاك نحاسية معزولة بالورنيش، تلف على فرم خاصّة بمقاس وبعدد لفّات يتناسب مع قدرة المحرّك، وتربط بالجهد والتيّار المارّ فيها. وتنقسم إلى قسمين، كما في الشكل (1):
  - » **ملفّات التشغيل (Running Winding).**
  - » **ملفّات البدء (Starting Winding).**



شكل (1): ملفّ البدء وملف التشغيل

- العضو الدائر:

وهو من نوع القفص السنجابي، حيث يتكوّن من مجموعة رقائق الصلب السليكوني المعزولة بالورنيش تثبت على عمود الدوران، ويشق على محيطها الخارجيّ مجارٍ طولية بشكل عدل أو مائل، توضع به قضبان (أسياخ) من النحاس أو الألمنيوم، وتوصل أطراف القضبان، وتلحم من الناحيتين بواسطة حلقتين مقفلتين من معدن القضبان نفسه.

- الغطاءان الجانبيان:

يصنعان من الصلب (حديد الزهر) أو الألمنيوم، أيّ من معدن الإطار نفسه، ويثبتان بواسطة مسامير قلاووظ، ويكون أحدهما أماميّاً والآخر خلفيّاً، ويحتويان البيل الَّتي تركّب على عمود الدوران، وتعمل على اتزان العضو الدائر، وتسهل حركة دورانه، وجعله في وضع يسمح له بحرية الحركة.

- مروحة التهوية:

وهي جزء مهم حيث تصنع من الألمنيوم أو البلاستيك، أثناء دوران المحرّك، فيندفع الهواء بين زعانف الإطار، فتخفّض من درجة الحرارة الَّتي تنشأ عن مرور التيّار في ملفّات القلب الحديديّ للعضو الثابت.

ب- الأجزاء الإضافيّة، تكون موجودة في بعض أنواع المحركات الأحادية الطور:

- مفتاح الطرد المركزيّ (Centrifugal Switch):

يوجد في محرّكات الوجه الواحد فقط؛ لأنّها تحتوي على ملفّات بدء وملفّات تشغيل، وهو خاص بملفّات البدء فقط وليس للتشغيل، ووظيفته فصل ملفّات البدء من دائرة المحرّك بعد أن يصل المحرّك إلى (75%) من سرعته المقنّنة، كما في الشكل (2).




شكل (2): أشكال مختلفة من مفتاح الطرد المركزيّ في المحرّكات الأحاديّة الطور

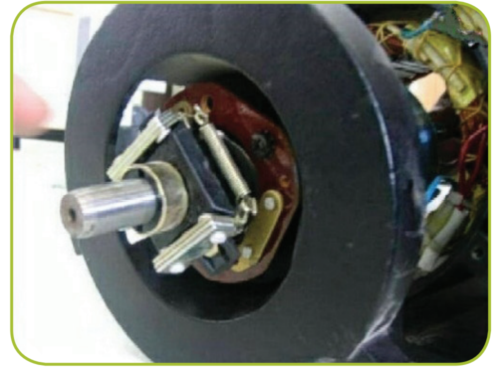
- **تركيب مفتاح الطرد المركزيّ**، يتركّب مفتاح الطرد المركزيّ من جزئين أساسيّين هما:

» **الجزء الثابت:**

يتكوّن من نصفي أسطوانة معزولتين بعضهما عن بعض، مثبتتين على الوجه الداخليّ للغطاء الجانبي الأماميّ، وتكون نقطة التوصيل الثابتة للمفتاح، وهذا الجزء الذي يحتوي على نقاط التلامس.

» **الجزء المُتحرّك:**

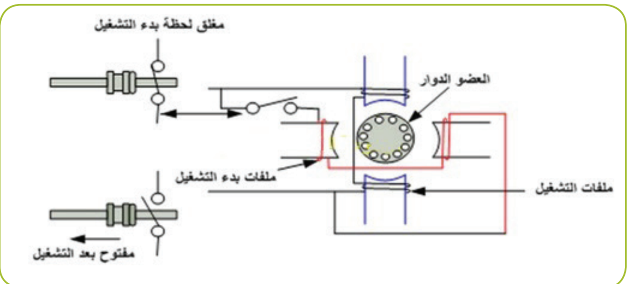
وهو الجزء الذى يتأثر بعمليّة الطرد المركزيّ؛ لأنه يثبت على عمود الدوران للعضو الدّوّار للمحرّك إما من خارج المحرّك ويكون مرئيّاً، أو داخل المحرّك فيكون غير مرئي، كما في الشكل (3).



شكل (3): شكل الجزء الميكانيكيّ لمفتاح الطرد المركزيّ في المحرّكات الأحاديّة الطور

- **نظريه عمل مفتاح الطرد المركزيّ:**

يتصل المفتاح على التوالي مع ملفّات البدء، عندما يكون المحرّك في حالة السكون تكون نقط تلامس مفتاح الطرد متصله بعضها مع بعض لتوصيل ملفّات البدء، وعندما يبدأ المحرّك في الدوران تكون نقط التلامس متصلة إلى أن تصل سرعة المحرّك إلى (75%) من سرعته الأساسيّة، وعندها تقوم نظريّة الطرد المركزيّ بشدّ الزنبرك الموجود في الجزء المُتحرِّك، فيتم فصل نقط التلامس؛ وبالتالي فصل ملفّات البدء، وعندها يعمل المحرّك على ملفّات التشغيل فقط، كما في الشكل (4).



شكل (4): نظريّة عمل مفتاح الطرد المركزيّ

- **فحص مفتاح الطرد المركزيّ:**

يتم فحص مفتاح الطرد المركزيّ أولاً بصرياً لعلامات الحرق أو الزنبركات المكسورة، فإذا وجدت أيّ علامة واضحة من المشاكل فيتم استبدال المفتاح. وإن لم يكن كذلك، فيتم التّحقّق من المفتاح باستخدام جهاز القياس (DMM)، حيث يتمّ ضبط جهاز القياس على المقاومة، وفحص أطراف المفتاح والمحرّك في حالة السكون، حيث تكون نقط تلامس مفتاح الطرد متصله مع بعضها، وتكون قراءة جهاز القياس مقاومة منخفضة. أما إذا كانت قراءة جهاز القياس مقاومة مرتفعة، فهذا يعني أن هناك مشكلة في المفتاح، ويجب تحديدها وحلها.

- **أهم مشاكل مفتاح الطرد المركزيّ:**

» **نقط تلامس مفتاح الطرد المركزيّ:**

متصلة بعضها مع بعض دائماً، تحدث هذه المشكلة غالباً من عدم تركيب المفتاح وضبطه جيداً أو القوس الكهربائيّ، وهذا يجعل ملفّات البدء لا تنفصل عند تشغيل المحرّك، وهذا يؤدّي إلى تلف مكثّف البدء أو ملفّ البدء ما لم يعمل مفتاح الأوفرلود، أو فصل مصدر الكهرباء يدوياً.

» **نقط تلامس مفتاح الطرد المركزيّ مفتوحة دائماً:**

تحدث هذه المشكلة غالباً نتيجة كسر الزنبرك، أو من عدم تركيب المفتاح وضبطه جيداً، وهذا يؤدّي إلى تلف ملفّ التشغيل ما لم يعمل مفتاح الأوفرلود، أو فصل مصدر الكهرباء يدوياً.

- المكثّف:

يضاف إلى المحرّكات الأحاديّة؛ وذلك لزيادة عزم بدء الدوران وتخفيض استهلاك التيّار، كذلك جعل المجال المغناطيسيّ لملف البدء متقدماً (°90) عن المجال الناشئ من ملفّات التشغيل للحصول على المجال المغناطيسيّ اللازم لبدء حركة المحرّك، ويوصل في دائرة ملفّات البدء، سواء أكان هناك مفتاح طرد مركزي أم من دون مفتاح طرد مركزي. وتوجد أنواع مختلفة من المكثّفات وهي: المكثّف الورقي، والمكثّف الممتليء بالزيت، والمكثّف ذو السائل الكهربيّ.

3- مبدأ عمل المحرّكات الحثّيّة أحاديّة الطور:

تعمل المحرّكات الأحاديّة على مبدأ الحثّ الكهرومغناطيسيّ بحيث:

- عند مرور تيّار كهربائيّ في ملفّات العضو الثابت (المكونة من وحدتين تفصلهما زاوية مقدارها (°90) كهربائيّة) ينشأ مجال مغناطيسيّ دوار.
- هذا المجال يقطع ملفّات العضو الدوّار ذي القفص السنجابي، فيتولد فيها تيّار بالتأثير.
- هذا التيّار المتولد ينشأ عنه مجال مغناطيسيّ جديد يتعارض مع المجال الأصليّ، ويحدث تنافر يؤدّي إلى تولّد عزم دوران، أو قوّة دائريّة ميكانيكيّة تحرّك العضو الدوّار فيدور المحرّك.

4- أنواع المحرّكات الحثّيّة أحاديّة الطور:

تصنّف المحرّكات الحثّيّة أحاديّة الطور حسب طريقة البدء المستخدمة إلى الأنواع الآتية:

أ- المحرّك الحثّيّ ذو الطور المشطور (Split - Phase Motor):

نشاط: قم بتشغيل المحرّك أحاديّ الطور ذي الطور المشطور باستعمال وسائل البدء المناسبة المرفقة في الشكل (5).



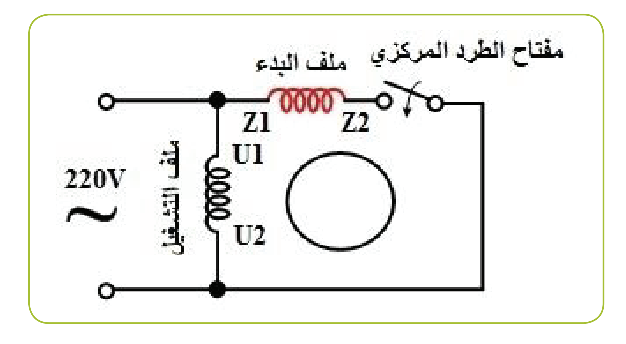


شكل (5): محرّك أحاديّ الطور ذو الطور المشطور

محرّك الطور المشطور هو محرّك ذو قدرة كسرية للحصان، سمي بهذا الاسم لأنه لا يستطيع بدء دورانه عند تغذية ملفه من مصدر الجهد الأحاديّ، لذا فقد تمَّ شطر (فصل) طور آخر بواسطة ملفّ، أو ملفّ ومكثّف؛ لتكون مقاومة ملفّات الطور المشطور (ملفّات البدء) ذات مقاومة أوميّة كبيرة بالنسبة لملفّات التشغيل، وبسبب اختلاف الممانعة الحثّيّة لكل من ملفّ البدء وملف التشغيل فإنّ ذلك يؤدّي إلى وجود زاوية طور بين التيّار في ملفّات التشغيل وملفّات الوجه المشطور (زاوية العزم) تكون عادة قليلة في هذا النوع من المحرّكات، وقد لا تتعدى (30°)؛ وهذا ما يجعل المحرّك يعمل بصورة جيدة لقدرات لا تتعدى ثلث حصان ميكانيكيّ (250W)، وتكون أفضل حالة عندما تكون الزاوية (90°). وتسمى ملفّات الوجه المشطور بملفّات البدء، والملفّات الرئيسية بملفّات التشغيل. وقد يتمّ إضافة مقاومة توصل على التوالي مع ملفّات البدء؛ لزيادة الزاوية المحصورة بين ملفّات البدء وملفّات التشغيل، بالإضافة لتقليل تيّار البدء العالي.

- تركيب المحرّك الحثّيّ ذي الوجه المشطور:

يتشابه تركيب المحرّك ذي القطب المشطور تماماً مع باقي أنواع المحرّكات الاستنتاجيّة أحاديّة الوجه، مع اختلاف بسيط في المكوّنات الإضافيّة، مثل: المكثّفات، ومفاتيح الطرد المركزيّ، كما في الشكل (6).



شكل (6): محرّك طور مشطور يظهر أجزاء المحرّك الرئيسية (العضو الثابت والعضو الدوار)



- **مبدأ عمل المحرّك الحثّيّ ذي الوجه المشطور:**

عند توصيل أطراف المحرّك بمصدر الجهد المتردّد يتولد مجال مغناطيسيّ في كلّ من ملفّات التشغيل وملفّات البدء، وبينهما زاوية كهربائيّة تساوي تقريباً (30°)؛ مسبباً تولد مجال مغناطيسيّ دوار قوي في العضو الثابت يقطع موصلات العضو الدّوّار؛ مسبباً مجالاً مغناطيسيّاً آخر يتفاعلان معاً، ويعملان على دوران المحرّك، وعندما يصل المحرّك إلى (75%) من سرعته يقوم مفتاح الطرد المركزيّ بفصل ملفّات البدء من دائرة المحرّك، ويستمر المحرّك في الدوران، كما في الشكل (7).





شكل (7): الدائرة الكهربائيّة لمحرّك الطور المشطور

- **خصائص المحرّك الحثّيّ ذي الطور المشطور:**

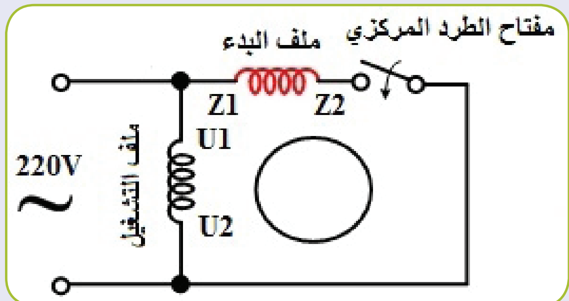
- لها عزم بدء بحركة متوسط القيمة (150% - 125%) من عزم المحرّك عندما يكون الحمل كاملاً.
- بحاجة إلى تيّار منخفض أثناء بدء الحركة.

- **استخدامات المحرّك الحثّيّ ذي الطور المشطور:**

يستخدم غالباً لتشغيل بعض الأجهزة المنزلية مثل: الغسالات، والمِضخّات الصغيرة، والمراوح ...إلخ.

ب- المحرّك الحثّيّ أحاديّ الطور ذو المكثّف (Capacitor Star Motor):

نشاط: قم بتشغيل المحرّك أحاديّ الطور ذي المكثّف المبين في الشكل (8).





شكل (8): محرّك أحاديّ الطور ذو المكثّف

ويقسم إلى الأنواع الآتية:

- المحرّك ذو مكثّف البدء (Capacitor Starting Motor):

يصنع بأحجام تتراوح بين (0.05 - 1Hp).

- **تركيب المحرّك ذي مكثّف البدء:**

» محرّك مكثّف البدء يشبه محرّك الطور المشطور في تركيبه، إلا أن به وحدة إضافيّة هي المكثّف، يتمّ توصيله على التوالي مع ملفّات البدء، وعندما يصل المحرّك إلى (75%) من سرعته يقوم مفتاح الطرد المركزيّ بفصل ملفّات البدء من دائرة المحرّك، ويستمر المحرّك في الدوران، ويعمل هذا المكثّف على تحسين زاوية فرق الطور لتقترب من (90°) كهربائيّة.

» يعطي المحرّك ذو المكثّف عزم دوران عند بدء الحركة أكبر من محرّك الوجه المشطور.

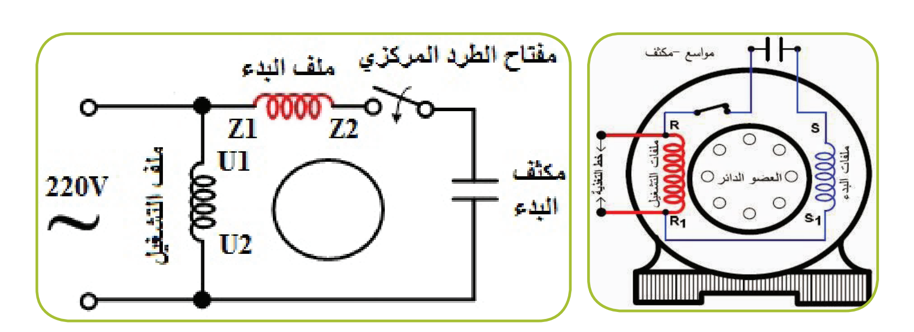
» قد يفقد المكثّف خصائصه نتيجة لكثرة التشغيل أو السخونة الزائدة، ويجب عند استبداله بآخر أن يكون له السعة نفسها تقريباً، وإلا فإنّ المحرّك قد لا يستطيع أن يولد عزم الدوران المطلوب عند البدء، كما في الشكل (9).



شكل (9): أجزاء المحرّك ذي مكثّف البدء

- **مبدأ عمل المحرّك ذي مكثّف البدء:**

مبدأ عمل المحرّك ذي مكثّف البدء هو مبدأ عمل المحرّك ذي الطور المشطور نفسه، والاختلاف الوحيد هو مقدار الزاوية الكهربائيّة في كلّ من ملفّات التشغيل وملفّات البدء، التي تساوي تقريباً (90°) بسبب وجود المكثّف، وهذا ما يجعل عزمه أكبر، كما في الشكل (10).



شكل (10): الدائرة الكهربائيّة والمخطط التمثيلي للمحرّك ذي مكثّف البدء

- **خصائص المحرّك ذي مكثّف البدء:**
  - » عزم كبير متولد عند بدء الحركة (400% - 300%) من عزم المحرّك عندما يكون الحمل كاملاً.
  - » يستهلك تيّار بدء أقل من المحرّك ذي الوجه المشطور.
  - » معامل قدرته أكبر.

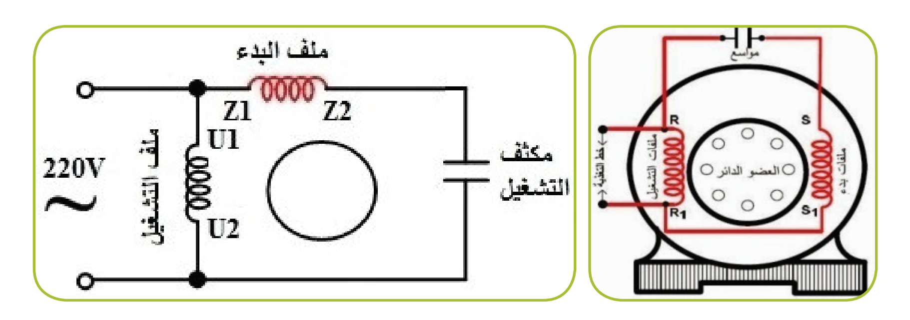
- **استخدامات المحرّك ذي مكثّف البدء:**

يستعمل على نطاق واسع لإدارة أجهزة التكييف، والغسالات الكهربائيّة، والمضخّات، وغيرها.

- المحرّك ذو مكثّف التشغيل (الدائم) (Capacitor Running Motor):

إن كلّاً من مكثّف التشغيل وملف البدء يساعد في عمليّة بدء التشغيل، ويبقى في الدائرة أثناء عمل المحرّك، ولهذا سمي بالمحرّك ذي المكثّف الدائم.

- **تركيب ومبدأ عمل المحرّك ذي مكثّف التشغيل، كما في الشكل (11).** يشبه تركيبه ومبدأ عمله المحرّك ذا مكثّف البدء، ولكن من دون وجود مفتاح طرد مركزي.



شكل (11): الدائرة الكهربائيّة والمخطط التمثيلي للمحرّك ذي المكثّف الدائم

- **خصائص المحرّك ذي المكثّف الدائم:**
  - » عزم بدء منخفض يصل لغاية (95%) من عزم المحرّك عندما يكون الحمل كاملاً.
  - » كفاءة عالية (80%).

- **استخدامات المحرّك ذي المكثّف الدائم:**

مع التطبيقات التي تحتاج إلى هدوء ويسر الدوران عند البدء مثل مراوح أجهزة التكييف.



- المحرّك ذو المكثّفين (ذو مكثّف البدء والتشغيل) (Capacitor Start Capacitor Run):

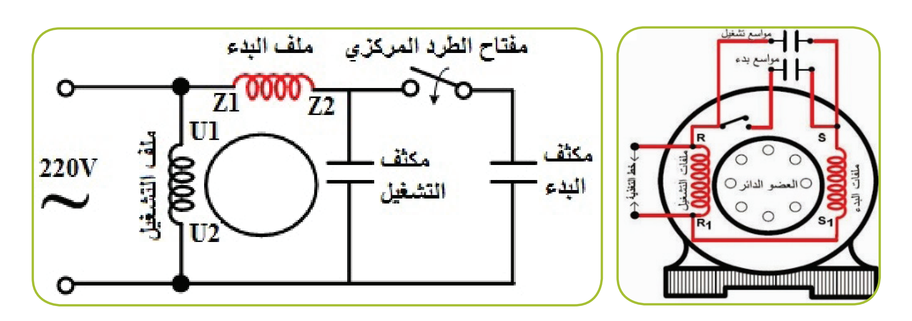
يستخدم للحصول على ميزات التشغيل لكلا النوعين السابقين، ويستخدم للمحرّكات الأكثر من (2Hp).

- **تركيب المحرّك ذي المكثّفين:**

المحرّكات ذات العزم العالي تكون عادة مجهزة بمكثّفين: أحدهما ذو سعة كبيرة وجهد تشغيله في حدود (220V) ويُسمّى مكثّف البدء، ويوصل بالتوالي مع مفتاح الطرد المركزيّ وملفّات البدء، وينفصل عن الدائرة بعد أن تصل سرعة المحرّك إلى (75%) من السرعة المقنّنة، والثاني ذو سعة صغيرة، وجهد تشغيله لا يقل عن (450V)، ويوصل بالتوالي مع ملفّات البدء، ويُسمّى مكثّف التشغيل أو الدائم، كما في الشكل (12).

- **مبدأ عمل المحرّك ذي المكثّفين:**

يبدأ المحرّك الدوران مع وجود المكثّفين على التوازي، وبالتالي تكون السعة المكافئة مساوية حاصل جمعهما؛ مما يؤدّي إلى زيادة تيّار البدء، وينتج عزم بدء عالٍ، ويتمّ فصل مكثّف البدء، ويظل مكثّف التشغيل في الدائرة.



شكل (12): الدائرة الكهربائيّة والمخطط التمثيلي للمحرّك ذي المكثّفين

- **خصائص المحرّك ذي المكثّفين:**

» هذا النوع من المحرّكات يجمع بين مميزات المحرّك ذي مكثّف البدء: من حيث عزم البدء العالي (195%) من عزم الحمل الكامل) والمحرّك ذي المكثّف الدائم من حيث الكفاءة العالية والتيّارات المنخفضة، وبالتالي يعمل تحت درجات حرارة منخفضة.

» والعيب الوحيد لهذا المحرّك هو ارتفاع ثمنه.

- **استعمالات المحرّك ذي المكثّفين:**

» يستعمل هذا المحرّك في محرّكات الضواغط، ومحرّكات مِضخّات المياه الكبيرة نسبياً.

- **الفرق بين المكثّفات المستخدمة في المحرّكات الأحاديّة الطور:**

لاحظنا سابقاً أنه يوجد نوعان للمكثّفات المستخدمة في المحرّكات، الأول مكثّف البدء (Start)، والثاني مكثّف التشغيل (Run).

من حيث	مكثّف البدء (Start)	مكثّف التشغيل (Run)
الجسم الخارجيّ	فيبر	معدن
اللون	أسود	أبيض
السعة لكل حصان	50μF/330V	20μF/450V
الحجم	أقل	أكبر
النوع	من النوع ذات السائل الكهربائيّ (إلكتروليتي)	مكثّف ورقي مشبع بالزيت
بقاؤه في الدائرة	يخرج من الدائرة	يبقى في الدائرة
التوصيل	على التوالي مع ملفّ البدء سواء أكان هناك مفتاح طرد مركزي أم لا.	

كما يوجد نوع آخر لمكثّفات تشغيل المحرّك، وهو النوع المزدوج، وهو عبارة عن مكثّفين في مكثّف واحد، أحدهما للبدء، والآخر للتشغيل الدائم، وغالباً ما يخرج من هذا المكثّف ثلاثة أطراف: طرف مشترك، وطرف بدء، وطرف تشغيل، أو أربعة أطراف: اثنان للبدء، واثنان للتشغيل، كما في الشكل (13).



مكثّف بدء | مكثّف دائم | مكثّف مزدوج

شكل (13): أنواع المكثّفات في المحرّكات الأحاديّة الطور

ملاحظة: إذا استخدم مكثّف البدء كمكثّف تشغيل في الدائرة فسينفجر حتى إذا كان له نفس سعة مكثّف التشغيل.

- **أطراف المحرّكات الأحاديّة الطور وتوصيلها:**

يخرج من المحرّكات الأحاديّة الطور ثلاثة أطراف، أو أربعة، أو ستة؛ وذلك حسب نوع المحرّك، بحيث تكون الأطراف:

» طرفي ملفّات التشغيل (U1،U2).
» طرفي ملفّات البدء (Z1،Z2).
» طرفي مفتاح الطرد المركزيّ.

ولتحديد هذه الأطراف يتمّ استعمال جهاز قياس (DMM)، ووضعه على إشارة المقاومة، والقياس بين أيّ طرفين:

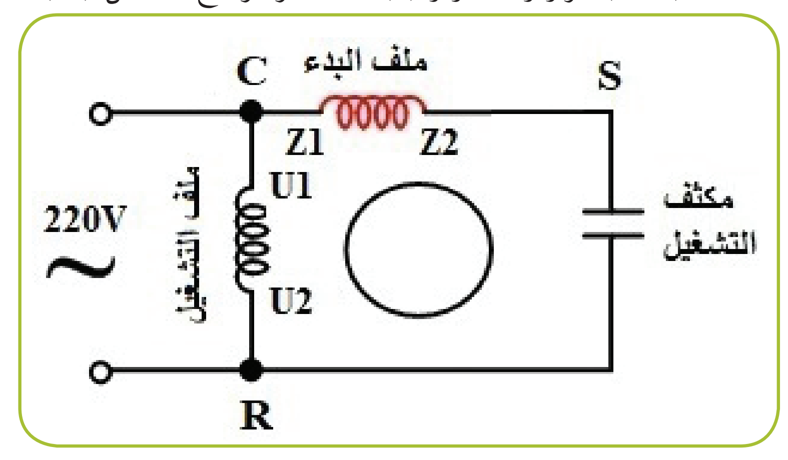
- **إذا لم يقرأ جهاز القياس:** فأحدهما طرف بدء والآخر تشغيل.
- **إذا قرأ جهاز القياس قراءة أوم صغيرة:** فهما طرفا ملفّات التشغيل.
- **إذا قرأ جهاز القياس قراءة أوم كبيرة:** فهما طرفا ملفّات البدء.
- **إذا قرأ جهاز القياس صفر أوم:** فهما طرفا مفتاح الطرد المركزيّ؛ لأنه يكون مغلقاً عند السكون، ذلك إذا ما افترضنا أن المحرّك سليم، وليس به أيّ مشكله.

أما إذا كانت نتائج القياسات مختلفة عن ذلك فيجب فتح المحرّك، والكشف عليه، والكشف على مفتاح الطرد المركزيّ. وبعد ما تعرفنا على كيفيّة تحديد أطراف المحرّك يصبح من السهل توصيل هذه الأطراف؛ لتكملة الدائرة ليعمل المحرّك تبعاً لنوع المحرّك، كما مرّ سابقاً، وذلك على النحو الآتي:

- يتم توصيل أحد طرفي التشغيل، مع أحد طرفي البدء، مع أحد طرفي التغذية.
- يتم توصيل طرف البدء الآخر مع طرف مفتاح الطرد.
- يتم توصيل الطرف الثاني لمفتاح الطرد، مع طرف التشغيل الثاني، مع الطرف الثاني لمصدر التغذية. وبذلك تكتمل الدائرة.
- إذا تواجد مكثّف بدء يتمّ توصيله في الخطوة الثانية بالتوالي بين مفتاح الطرد المركزيّ، وطرف البدء الثاني.
- إذا تواجد مكثّف دائم يتمّ توصيله بين طرف البدء الثاني، وطرف التشغيل الثاني.

- **في حالة المحرّك الأحاديّ الطور ذي مكثّف التشغيل، يخرج أحياناً ثلاثة أطراف من المحرّك فقط بدلاً من أربعة بحيث:**

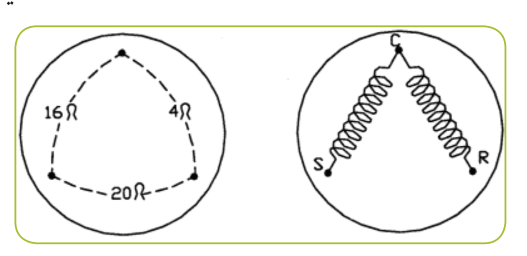
- يتمّ توصيل بداية ملفّات التشغيل مع بداية ملفّات البدء بداخل المحرّك؛ ليخرج منها طرف واحد فقط، يُسمّى الطرف المشترك (Common)، ويرمز له بالرمز (C).
- طرف من نهاية ملفّات التشغيل (Run)، ويرمز له بالرمز (R).
- طرف من نهاية ملفّات البدء (Start)، ويرمز له بالرمز (S)، كما هو موضَّح بالشكل (14).



شكل (14): أطراف المحرّك أحاديّ الطور ذي المكثّف



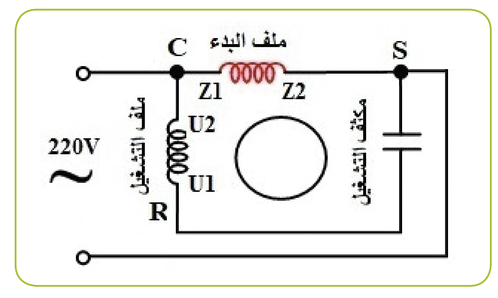
- **ويتم تحديد الأطراف عن طريق جهاز القياس (DMM) بقياس المقاومة بين الأطراف الثلاث، فينتج:**
  - » طرف الملفّ المشترك (C) وطرف ملفّ البدء (S)، (C/S) سيعطي قراءة وسط).
  - » طرف الملفّ المشترك (C) وطرف ملفّ التشغيل (R)، (C/R) سيعطي أصغر قراءة).
  - » طرف ملفّ التشغيل (R) وطرف ملفّ البدء (R)، (R/S) سيعطي أكبر قراءة).
  - » مجموع ملفّات التشغيل والبدء معاً: (R/C) = (C/S) + (C/R) كما في الشكل (15).



شكل (15): قيمة المقاومة بين أطراف الملفّات في المحرّك أحاديّ الطور

حيث إنَّ أكبر مقاومة تكون بين الطرفي (R/S)، فنصل المكثّف بين الطرفين، ثم نوصل خط التعادل (N) مع أحد الطرفين، كذلك نستنتج أن الطرف الثالث هو (C)، ونوصل معه خط الفاز (L).

إذا دار المحرّك بالاتجاه الصحيح فهذا يعني أن توصيلنا هو الصحيح، وإذا دار بالاتجاه الخطأ، فقط نوصل طرف التعادل إلى الطرف الآخر من المكثّف، (فقط حالة تساوي ملفّات البدء مع ملفّات التشغيل تماماً من حيث قطر السلك وعدد اللفّات وخطوة الملف)، كما في الشكل (16).



شكل (16): عكس دوران محرّك أحاديّ الطور ذي مكثّف

مثال: لدينا محرّك أطراف ملفاته هي (1) (2) (3)، وبقياس المقاومة بين كلّ طرفين من أطرافه حصلنا على القراءات الثلاث الموضحة في الجدول التالي، حدد الأطراف الثلاثة للمحرّك (C) (R) (S).

أطراف القياس	1-2	1-3	2-3
المقاومة بالأوم	65Ω	15Ω	50Ω

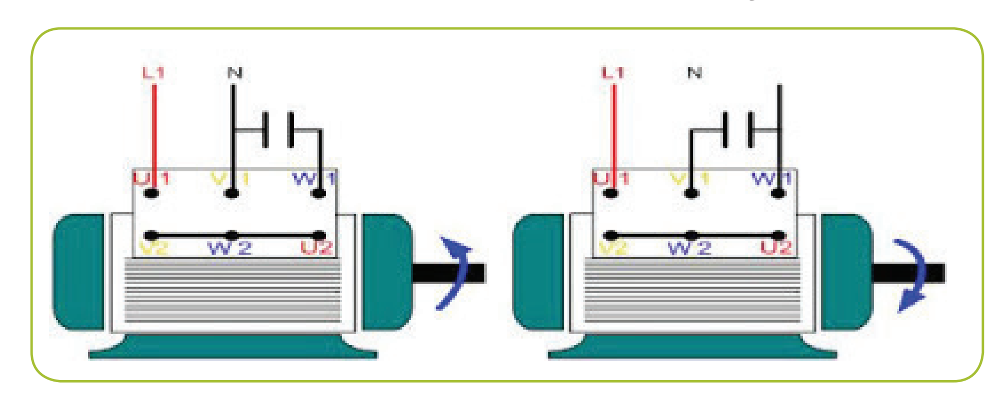
الحل:

- » الطرفان اللذان يعطيان أكبر قيمة مقاومة هما: 2-1، إذن الطرف (3) هو (C).
- » الطرف (3) يعطي أقل قراءة مع (R)، إذن الطرف (1) هو R، والطرف (2) هو (S).

- **تشغيل محرّك ثلاثيّ الطور (380V) على مصدر جهد أحاديّ الطور (220V):**

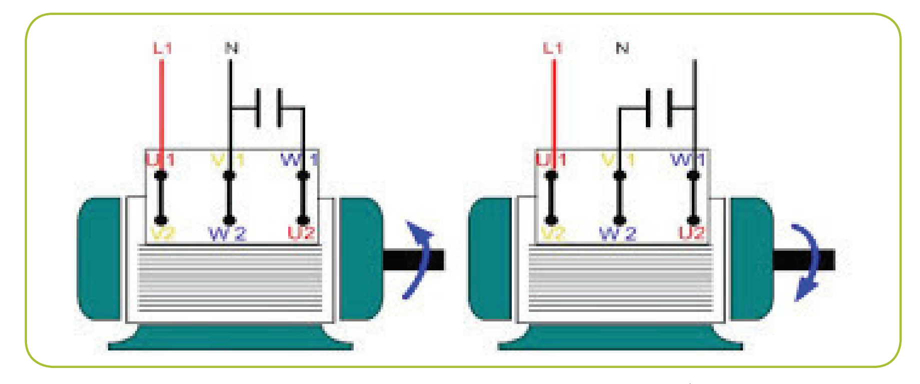
يمكن تشغيل محرّكات ثلاثيّة الطور ذوات القفص السنجابي (380V) على جهد طور واحد (220V) للمحرّكات ذات القدرات الصغيرة الَّتي قدرتها أقل من حصان ميكانيكيّ واحد، وقد يقبل بأن ترتفع هذه النسبة لتصل إلى حصان ونصف الحصان الميكانيكيّ (1.5HP)، علماً بأن قدرته لن تتعدى (75%) من قدرته الأصليّة، أيّ أن المحرّك في حالة التحويل سوف يفقد ثلث قدرته تقريباً، والسبب أن أحد الملفّات الثلاثة يعمل كملف بدء تشغيل. ويتمّ التحويل بتوصيل مكثّف تشغيل، كما في الشكلين (21) و (22)، وتحسب قيمة المكثّف بشكل تقريبي حسب قدرة المحرّك، حيث يتمّ توصيل مكثّف (50μF/450V) لكل حصان ميكانيكيّ عند عمل المحرّك على (220V) طور واحد. أيّ أن المحرّك الذي قدرته (1.5HP) يتمّ توصيله بمكثّف قدرته (75μF/450V).

تبين الأشكال التالية كيفيّة توصيل المكثّف مع المحرّك، حيث يُبيِّن الشكل (17) توصيلة ملفّات المحرّك في حال توصيلة النجمة (ستار) وكيفيّة عكس اتجاه دورانه.



شكل (17): توصيلة ملفّات المحرّك في حال توصيلة النجمة (ستار) وكيفيّة عكس اتجاه دورانه

أما الشكل (18) فيُبيِّن توصيل ملفّات المحرّك في حالة توصيلة المثلث (دلتا) وكيفيّة عكس اتجاه دورانه.



شكل (18): توصيلة ملفّات المحرّك في حال توصيلة المثلث (دلتا)، وكيفيّة عكس اتجاه دورانه

ج- المحرّك الحثّيّ ذو القطب المظلل (Shaded Pole Motor):

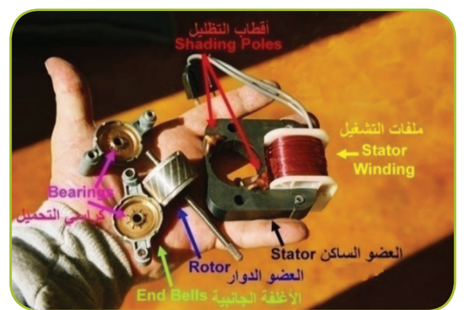
المحرّك ذو القطب المظلل: هو محرّك تيّار متردّد ذو وجه واحد، وتتراوح قدرته ما بين (0.35 - 0.01) من الحصان تقريباً.

- تركيب المحرّك الحثّيّ ذي القطب المظلل:

يشبه في تركيبه المحرّك ذا القفص السنجابي، إلا أن الاختلاف الوحيد أن ملفّات البدء تكون عبارة عن لفة واحدة (حلقة) من سلك غليظ مغلقة، وتوضع على أحد جانبي قطب التشغيل في مجرى خاصّ بها، وتعمل عمل ملفّات البدء نفسه، ويتركّب المحرّك ذو القطب المظلل من الآتي، كما في الشكل (19):

- **العضو الدوار:** وهو من نوع القفص السنجابي، كتلك الَّتي تستعمل في المحرّك ذي الوجه المشطور.
- **العضو الثابت:** يتكوّن العضو الثابت من أقطاب بارزة، ويوجد نوعان من الملفّات، تكون مثبتة على العضو الساكن فيه، هما الملفّات الرئيسية وملفّات التظليل الَّتي تحتل حوالي الثلث فقط من جانب القطب للملف الرئيسي، وتقوم هذه الملفّات المظللة مقام ملفّات البدء.

كما تصنع هذه المحرّكات بقطبين، أو أربعة، أو ستة، أو ثمانية، ويمكن أيضاً تصنيع هذا النوع من المحرّكات بأقطاب غير بارزة؛ أيّ بواسطة مجارٍ توضع فيه الملفّات الرئيسية والمظللة في الإطار الخارجيّ، كما هو الحال في المحرّك ذي الوجه المشطور.

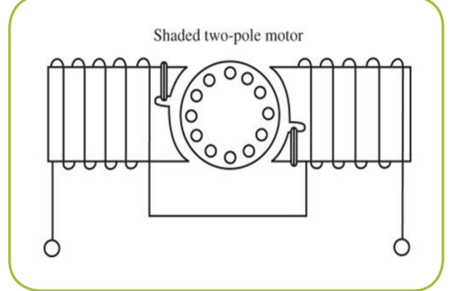


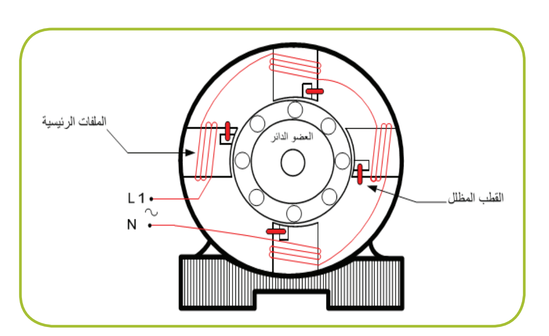


شكل (19): تركيب المحرّك الحثّيّ ذي القطب المظلل

- طريقة توصيل المحرّك الحثّيّ ذي القطب المظلل، ونظريّة عمله:

في هذا المحرّك توصل ملفّات التشغيل بالتوازي، وتقوم الحلقات النحاسية المقصورة بعمل ملفّات البدء، وعند مرور التيّار في ملفّات التشغيل يتولد بها مجال مغناطيسيّ يقطع الحلقة النحاسية، فيتولد في الحلقة النحاسية تيّارات حثّيّة بفعل وجودها داخل المجال، ويكون التيّار متخلفاً زمنيّاً بزاوية مقدارها (°90)؛ لذا ينشأ عن ذلك تكون مجال مغناطيسيّ دوار في العضو الثابت. هذا المجال يقطع ملفّات العضو الدّوّار فينشأ بها مجال مغناطيسيّ يتنافر مع مجال العضو الثابت مسبباً حركة المحرّك. وعندما يصل المحرّك إلى سرعته المعتادة يصبح تأثير الملفّات المظللة مهملاً، كما في الشكل (20). وكما نعلم فإن نظريّة عمل المحرّكات تنص على أنه إذا وضع موصل داخل مجال مغناطيسيّ، وكان هذا الموصل يحمل تيّاراً نتج عنه حركة هذا الموصل.





شكل (20): محرّك أحاديّ الطور ذو قطب مظلل (4) أقطاب (يمين الصورة) وقطبين (يسار الصورة)

- خصائص المحرّك الحثّيّ ذي القطب المظلل:

- رخيص الثمن.
- بسيط التركيب.

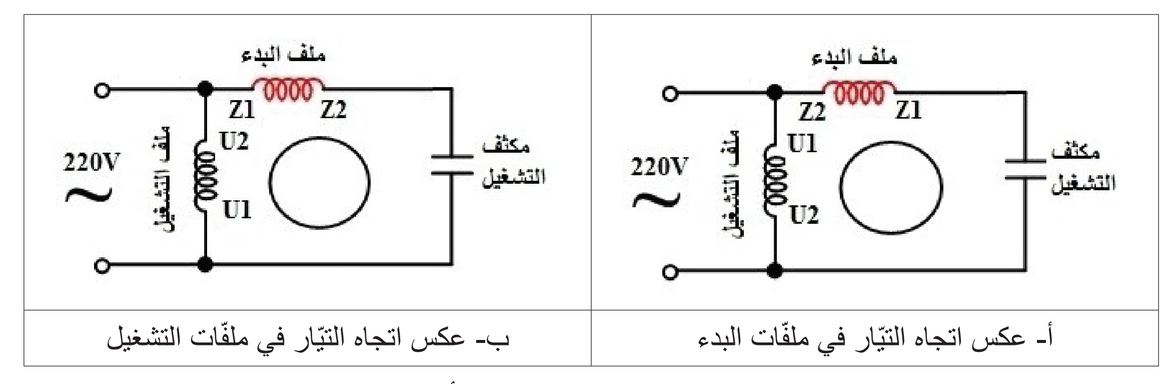
أما عيوبه: له عزم دوران ابتدائي منخفض، وكفاءة قليلة، وصعوبة التحكّم بعكس دورانه.

- استخدامات المحرّك الحثّيّ ذي القطب المظلل:

يستخدم في التطبيقات الَّتي تحتاج إلى عزم دوران ابتدائي منخفض، مثل: المراوح الصغيرة، ومجففات الشعر، وأدوات المطبخ، ومِضخّات الغسالات الأوتوماتيكية، وتطبيقات عديدة أخرى.

5- عكس دوران المحرّكات الأحاديّة الطور:

يتم عكس اتجاه الدوران في المحرّكات الأحاديّة الطور بعكس نهايتي ملفّ البدء أو نهايتي ملفّ التشغيل بالنسبة لمصدر الجهد، (عكس اتجاه التيّار في ملفّ البدء أو ملفّ التشغيل)، ويتمّ ذلك يدوياً، أو باستخدام المفاتيح المغناطيسيّة، كما في الشكل (21).



أ- عكس اتجاه التيّار في ملفّات البدء

ب- عكس اتجاه التيّار في ملفّات التشغيل

شكل (21): عكس دوران المحرّكات الأحاديّة الطور

أما في حالة المحرّك ذي القطب المظلل، فإنّه لا يمكن عكس حركته كهربائيّاً، ولكن تعكس ميكانيكيّاً، أيّ لا بد من فكّ أجزاء المحرّك، وقلب العضو الثابت بالنسبة إلى العضو الدوار، أيّ دوران القطب زاوية (°180).

ثانياً- المحرّكات أحاديّة الطور ذات الموحد:

هناك أنواع أخرى من محرّكات التيّار المتردّد أحاديّة الطور، حيث يحتوي العضو الدّوّار فيها على موحد، كما هو الحال في محرّكات التيّار المستمرّ، ومنها:

1- المحرّك العام (Universal Motor):

نشاط: قم بتشغيل المحرّك العام المبين في الشكل (22).



شكل (22): محرّك عام

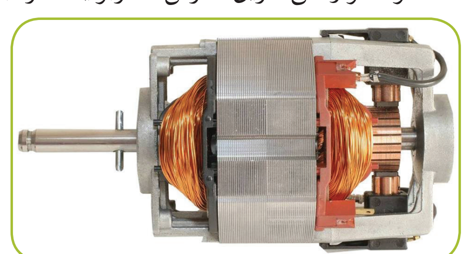
- يعمل المحرّك العام بالتيّار المستمرّ أو بالتيّار المتردّد؛ ولذلك سمي المحرّك العام.
- يُعدّ المحرّك العام محرّك توالي تيّار مستمرّ.
- سرعة المحرّك العام أعلى في حالة تشغيله على التيّار المستمرّ، وهو يدور بسرعة عالية لدرجة الخطورة عندما لا يكون محملاً، ولذلك فهو يعمل وهو محمل بالحمل الذي يعمل على إدارته.
- يصنع المحرّك العام بقدرات أقل من حصان واحد.

أ- تركيب المحرّك العام، كما في الشكل (23).

- **العضو الدوار:** يشبه العضو الدّوّار لمنتج محرّك تيّار مستمرّ (وبالتالي يحتوي على موحد).
- **الجزء الثابت:** يصنع على شكلين:

- **شكل يشبه في تركيبه العضو الثابت لمحرّك الطور المشطور،** الذي يحتوي على مجموعتين من الملفّات. تسمى الأولى الملفّات الرئيسية (وتشبه ملفّات التشغيل)، والثانية تسمى ملفّات التعويض (وتشبه ملفّات البدء)، وتكون مزاحة عن الأولى بزاوية مقدارها (°90) عنها، ويصنع هذا النوع بقدرات عالية.
- **شكل ذو أقطاب بارزة:** ويشبه في تركيبه الجزء الثابت لمحرّك تيّار مستمرّ من نوع توالٍ، وله قدرات أقل من النوع الأول. وتوصل ملفّات العضو الثابت فيه مع ملفّات العضو الدّوّار عن طريق الفرش الكربونية المركبة على عضو التوحيد.



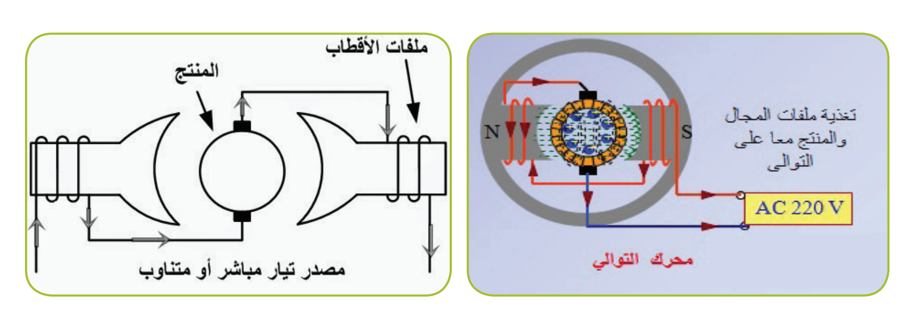


شكل (23): أجزاء المحرّك أحاديّ الطور ذي الموحد - محرّك عام



ب- مبدأ عمل المحرّك العام: عند توصيل الجهد الكهربائيّ (جهد متردّد أو مستمرّ) على طرفي المحرّك يمرّ التيّار في كل من ملفّات المجال في الجزء الثابت وملفّات العضو الدّوّار؛ مما ينشأ عنهما مجالان مغناطيسيّان مختلفان ينتج عنهما عزم دوران العضو الدوار، وإذا انعكست قطبيّة توصيلات الخط فهو يستمر في الدوران في نفس الاتجاه؛ لأن التيّار سوف ينعكس في ملفّات المنتج وملفّات المجال على السواء.

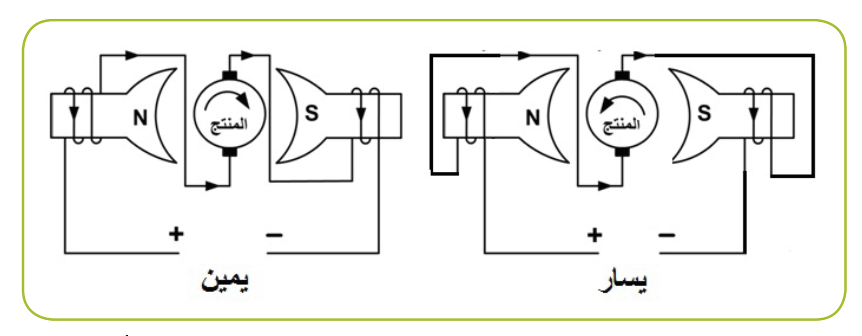
إن سرعة المحرّك العام تصل إلى ما بعد (100%)، وتقل تدريجياً كلما زاد عزم الدوران، كما في الشكل (24).



شكل (24): توصيل الجهد الكهربائيّ للمحرّك العام

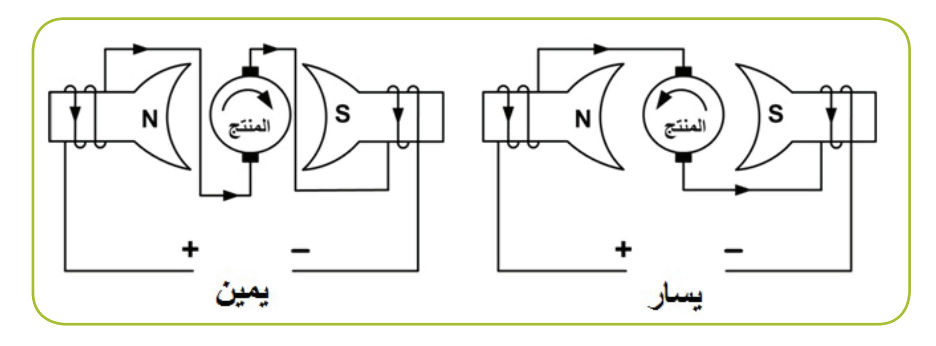
ج- عكس دوران المحرّك العام:

- بعكس اتجاه دخول تيّار المجال مع ثبات اتجاه تيّار عضو الإنتاج (بعكس أطراف ملفّات الأقطاب)، شكل (25).



شكل (25): عكس اتجاه دوران المحرّك العام بعكس أطراف ملفّات الأقطاب

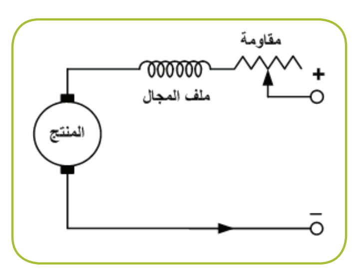
- بعكس اتجاه دخول التيّار في ملفّات العضو الدّوّار، وذلك بتبديل الخطّين المتصلين بالفرش الكربونية (الفحمات) الواحد مكان الآخر (عكس طرفي الفرش الكربونية)، شكل (26).



شكل (26): عكس اتجاه دوران المحرّك العام بعكس طرفي الفرش الكربونية

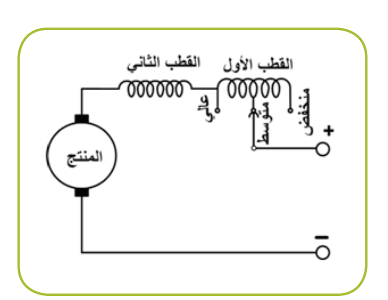
د- التحكّم بسرعة المحرّك العام:

- **مقاومة متغيّرة توصل على التوالي مع المحرّك:** يتم توصيل مقاومة متغيرة على التوالي مع المحرّك، وهذه الطريقة تستخدم في التحكّم بآلة الخياطة المنزلية عن طريق بدالة قدم، ونلاحظ أن السرعة تقل كلما زادت قيمة المقاومة، كما في الشكل (27).



شكل (27): التحكّم بسرعة المحرّك العام عن طريق مقاومة متغيّرة

- **استعمال نقط تقسيم على ملفّات المجال (Tapping - Field Method):** ويوضّح الشكل (28) هذه الطريقة، حيث إنَّ أحد ملفّات المجال يحتوي على مجموعة من التفريعات لتجزئة ملفّ المجال، وهذه الطريقة تتحكم بالسرعة عن طريق تغيير المجال الرئيسي.



شكل (28): التحكّم بسرعة المحرّك العام عن طريق تقسيم ملفّات المجال

هـ- خصائص المحرّك العام:

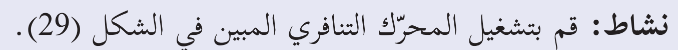
- عزم بدء كبير (%400 - %300) من عزم الحمل الكامل.
- التحكّم بسرعته بسهولة، وله عادة سرعات كبيرة تتراوح ما بين (5500rpm - 15000rpm)، وفي حالة التحميل تقلّ سرعته إلى حوالي النصف تقريباً.

عيوبه: وجود الشرر بين الفرش والموحد؛ ولتقليلها يمكن إضافة مقاومة على التوالي مع الفرش الكربونية، كذلك فهي متغيّرة السرعة.

و- استخدامات المحرّك العام:

- الاستخدامات المنزلية مثل الخلاطات ومضارب البيض وآلات الخياطة والمكانس الكهربائيّة والغسالات الأوتوماتيكية والمقدح الكهربائيّ.
- يستعمل في القدرات الكبيرة في التسيير الكهربيّ لتشغيل آلات الجر الكهربائيّ والقطارات الكهربائيّة.

2- المحرّك التنافري (Repulsion Motor):



نشاط: قم بتشغيل المحرّك التنافري المبين في الشكل (29).



شكل (29): المحرّك التنافري

يشبه المحرّك التنافري إلى حدّ كبير محرّك التوالي في التيّار المستمرّ، وسمّي هذا المحرّك بالتنافريّ؛ لأن عزم دورانه مستمد من تنافر الأقطاب المغناطيسيّة المتشابهة لأقطاب العضو الثابت والعضو الدوّار.

أ- تركيب المحرّك التنافري:

- **العضو الثابت:**

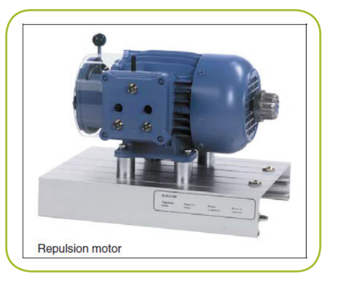
يشبه العضو الثابت في المحرّكات الحثّيّة التأثيريّة السابقة، حيث توصل أطراف ملفاتها مع مصدر التغذية أحاديّ الطور.

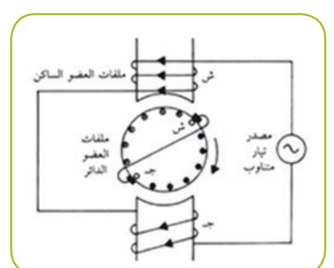
- **العضو الدوار:**

يختلف عن العضو الدّوّار في المحرّكات السابقة، إذ إنه من النوع الملفوف، الذي يحتوي على ملفّات توصل مع الموحد المركب على عمود الإدارة التابع له، كما هو الحال في محرّكات التيّار المستمرّ، فهو يُعدّ منتج تيّار مستمرّ من دون تغذية خارجيّة، إذ تقصر الفرش الكربونية الموجودة على الموحد بعضها مع بعض، التي تركب بحيث تشكل زاوية إزاحة تتراوح ما بين (°30 - °20) بين المحور المغناطيسيّ لأقطاب الجزء الثابت والمحور المغناطيسيّ لأقطاب العضو الدوّار.

ب- مبدأ عمل المحرّك التنافري:

عند توصيل أطراف المحرّك بمصدر الجهد المتردّد يتولد مجال مغناطيسيّ يقطع ملفّات العضو الدّوّار، فيتولد بها قوة دافعة كهربائيّة مستنتجة تمرر تيّاراً بملفّات المنتج المقصورة على نفسها بواسطة الفرش المقصورة، فينشأ عنها مجال مغناطيسيّ، وتكون القطبيّة الّتي في العضو الثابت والعضو الدّوّار (المنتج) نفس القطبيّة؛ مما يؤدّي إلى حدوث عزم دوران تنافري (ناتج عن تنافر الأقطاب المغناطيسيّة المتشابهة القطبيّة) فيدور المحرّك التنافري، كما في الشكل (30).





شكل (30): تمثيل محرّك أحاديّ الطور تنافري وشكله

ج- عكس اتجاه دوران المحرّك التنافري:

لعكس حركة المحرّك التنافري يوقف تماماً، ثم يغير زاوية موقع الفرش (الفحمات) عكس وضعها الأصليّ، كما في الشكل (31).



شكل (31): طريقة التحكّم بسرعة المحرّك التنافري واتجاهه

د- التحكّم بسرعة المحرّك التنافري:

يتم التحكّم بسرعة المحرّك التنافري بتغيير زاوية موقع الفرش (تحريك موقع الفرش بتحريك أسطوانة الفرش)، كما في الشكل (31).

هـ- خصائص المحرّك التنافري:

- له عزم بدء حركة كبير.
- حركته عند البدء انسيابية.
- تيّار بدء حركته منخفض.
- سرعته ثابتة.

و- استخدامات المحرّك التنافري:

- المِضخّات والمراوح.
- أجهزة التكييف والتبريد.
- آلات الجر الكهربائيّ.

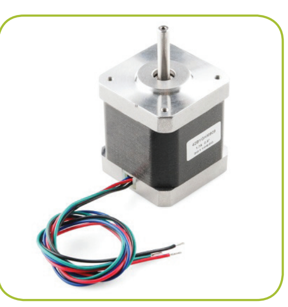
ثالثاً- المحركات الخاصة:

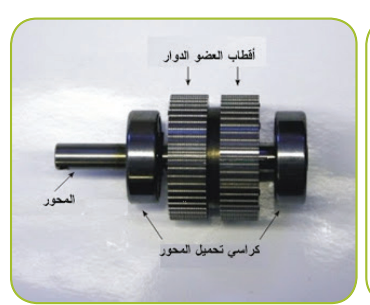
هي محركات اقل من واحد حصان وتستخدم في وسائل التحكم المختلفة، ومنها:

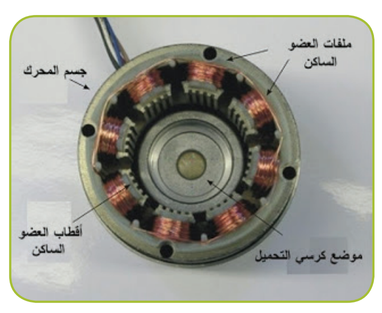
1- المحرك الخطوي (Stepper Motor):

- هو محرك كهربائي بدون فرش كربونية (Brushless) ومتزامن (Synchronous)، يستخدم في الآلات الصغيرة التي تحتاج لدقة في التحكم بمحركاتها مثل الطابعة وماكينات القص بالليزر وعدادات النقود وماكينات (CNC) وغيره.
- سمي بالخطوي بسبب قدرته على الدوران من زاوية توقفه الحالية إلى زاوية أخرى مطلوبة والتوقف عندها والفرق بين زاويتي الدوران تسمى الخطوة.
- تتحرك في كلا الإتجاهين بخطوات زاوية دقيقة ويمكن التحكم فيها بواسطة دوائر رقمية.
- يقوم بتحويل النبضات الكهربائية الى حركة ميكانيكية دقيقة, بحيث يدور محوره (العضو الدوار) بخطوات متقطعة تعتمد على النبضات الكهربائية المطبقة على المحرك.

أ- تركيب المُحرك الخطوي:







شكل (32): تركيب المحرك الخطوي

- **المحور (Axle):** يقوم بنقل الطاقة الميكانيكية من المُحرك إلى التطبيق الخاص بالمستخدم.
- **كراسي تحميل المحور (Bearings):** تقوم بتقليل الاحتكاك الحادث للمحور.
- **المغناطيسات (Magnets):** تقوم بتوفير المجال المغناطيسي الذي تتجاذب أو تتنافر معه اللفات.
- **أقطاب العضو الدوار (Poles):** تعمل على زيادة دقة مسافة الخطوة عن طريق تركيز المجال المغناطيسي.
- **ملفات العضو الساكن (Windings):** تقوم بتحويل الكهرباء إلى مجال مغناطيسي يعمل على تحريك المحور.

ب- زاوية الخطوة للمحركات (Step Angle):

وهي الزاوية التي يدورها المحرك لكل نبضة تحكم. وهذه الزاوية يمكن أن تصل لقيمة صغيرة بحدود (0.72°) أو قيمة كبيرة حتى (90°) حيث تنحصر زواية الخطوة للمحركات الخطوية بين (0.9°) حتى (90°).

- (0.9°) أي (400) خطوة في الدورة.
- (1.8°) أي (200) خطوة في الدورة.
- (3.6°) أي (100) خطوة في الدورة.

ج- مبدأ عمل المحرك الخطوي:

تعمل المحركات الخطوية على مبدأ الكهرومغناطيسية, فهو يحتوي على عضو دوار (مغناطيسي أو من الحديد اللين) محاط بملفات كهرومغناطيسية ثابتة, وكلاهما لديه اقطاب, وعند تفعيل أحد هذة الملفات بتمرير تيار عبرها, يتحرك العضو الدوار ليحاذي الأقطاب المفعلة, لذلك يجب تطبيق نبظات بترتيب وتسلسل معين على هذه الملفات لنحصل على حركة منتظمة.

نشاط: ابحث في الشبكة العنكبوتية عن أنواع محركات الخطوة وكيف التمييز بينهم؟

2- محرك السيرفو (Servo Motor):

محرك السيرفو: هو عبارة عن محرك كهربائي يُستخدم لتحريك العضو الدائر له بزوايا محددة ودقيقة, ويستخدم نظام التغذية الراجعة للتحكم بالمحرك، ويتم ذلك عن طريق نظام التحكم المغلق والذي يتحكم إما بالعزم أو السرعة أو موقع عمود الدوران للمحرك، ويبين الشكل (33) أنواع مختلفة من محركات السيرفو.



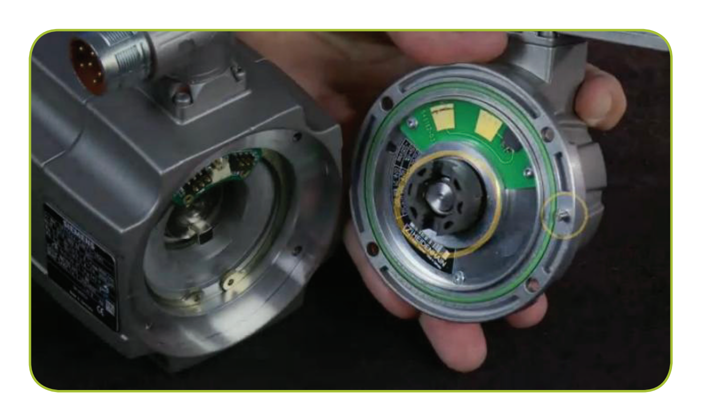
شكل (33): أنواع مختلفة من محركات سيرفو

ومن أمثلة تطبيقات هذا المحرك تحريك أجهزة الرادار وأطباق استقبال الأقمار الصناعية ويستخدم أيضاً فى تحريك أجنحة الطائرات وبعض أنواع أجهزة الطباعة والآلات التعبئة والتغليف وتصنيع المأكولات, ومن الملاحظ أن كل هذه التطبيقات تعمل على سرعه بطيئه جداً, لذلك فإن محركات السيرفو تتميز بسرعات بطيئه جداً.

أ- تركيب محرك السيرفو:

- محرك كهربائي إما محرك تيار مستمر (DC Motor) أو محرك تيار متناوب (AC Motor), لتحريك العضو الدوار.
- علبة تروس لتقليل سرعة الدوران وزيادة عزم الدوران.
- مقاومة متغيرة لمعرفة وضع العضو الدوار الحالي.
- دائرة الكترونية للتحكم بموقع العضو الدوار ومشغل (Drive) لتزويد المحرك بالتيار الكهربائي اللازم لتشغيله حسب الأوامر المطلوبة وتحريكه بزوايا وإيقافه في الزاوية المطلوبة, حيث تقوم باستلام اشارة التحكم من الدرايف (Drive) وتشغيل المحرك .
- جهاز تغذية راجعة (Feedback Device) أو (Encoder) يستطيع أن يحدد موقعه مثبت على محور الدوران للمحرك ليقوم بإرسال إشارة إلى الدائرة الالكترونية عن موقعه.

نشاط: ابحث في الشبكة العنكبوتية عن تركيب الإنكودر ومبدأ عمله؟



شكل (34): جهاز التغذية الراجعة لمحرك السيرفو (Encoder)

ب- تصنيف محركات السيرفو من ناحية مصدر الجهد:

- **محرك سيرفو تيار متغير (AC Servo Motor)، على نوعين هما:**
  - محرك سيرفو آحادي الطور.
  - محرك سيرفو ثلاثي الطور.

- **محرك سيرفو تيار مستمر (DC Servo Motor)، على 3 أنواع هم:**
  - محرك تيار مستمر ذو فرش كربونية (فحمات) (Brush DC Motor).
  - محرك تيار مستمر بدون فرش كربونية (فحمات) (Brushless DC Motor).
  - محرك سيرفو تيار مستمر من نوع المغناطيس الدائم.

ج- مبدأ عمل محرك السيرفو:

عندما يراد عمل المحرك عند سرعة معينة فإن دائرة القيادة (Drive) التي تحوي المنظمات تعمل على مقارنة القيمة الفعلية لسرعة المحرك الآتّية من الإنكودر (Encoder) مع السرعة المطلوبة وتعمل على تطبيق جهد التحكم اللازم للوصول للسرعة المطلوبة.

5 - 5 الموقف التعليميّ الخامس: تشخيص أعطال محرّكات التيّار المتناوب وإصلاحها

وصف الموقف التّعلّميّ:

حضر صاحب منجرة إلى مؤسسة صيانة المصانع يشتكي من توقف محرّك ماكينة قص الخشب (كريزك) عن العمل، ويريد من المؤسسة أن يقوم الفنّيّ المُختَصّ بتحديد نوع العطل وسببه، مع القيام بشراء القطع والتجهيزات المطلوبة بعد تحديد مواصفاتها وإعادة العمل للماكينة.

العمل الكامل:

خطوات العمل	وصف الموقف الصّفّيّ	المنهجيّة (إستراتيجيّة التّعلّم)	الموارد حسب الموقف الصّفّيّ
أجمع البيانات، وأُحللها	• أجمع البيانات من صاحب المنجرة عن طبيعة الخلل. • أجمع بيانات عن: - نوع المحرّك ونوع العطل سواء كان السبب تحميلاً زائداً، أو قصر دارة، أو تلف ملفّات المحرّك. • طرق كشف الأعطال الميكانيكيّة والكهربائيّة لمحرّكات التيّار المتناوب بأنواعها.	• البحث العلميّ. • الحوار والمناقشة.	• وثائق (كتالوج). • الشبكة العنكبوتية.
أُخطّط، وأُقرّر	• أصنف البيانات وتبويبها. • أحدد الأدوات والعِدَد والأجهزة اللازمة للعمل. • أحدد خطوات العمل: - قراءة اللّوحة الاسميّة للمحرّك وتفسير بياناتها. - مقارنة قدرة المحرّك الكهربائيّ مع الأحمال الكهربائيّة المتّصلة به. - مراجعة مخطّط لوحة توصيل المحرّك مع اللّوحة الاسميّة للمحرّك. - قياس التيّار المسحوب من المحرّك ومقارنته مع اللّوحة الاسميّة للمحرّك. - فحص المحرّك كهربائيّاً وميكانيكاً. - اختيار الحساسيّة المناسبة للقاطع حسب قدرة المحرّك المستخدم وطبيعة الحمل المتصل به (صندوق تروس ......بكرة). • إعداد جدول زمنيّ للتنفيذ.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• قرطاسيّة. • وثائق. • نموذج الجدول الزمنيّ.

أُنفّذ	• استخدام أدوات السلامة المهنيّة وفقاً للمعايير الفنيَّة وأنظمة السلامة ذات الصلة. • استخدام العِدَد والأدوات المناسبة لعمليّة الفكّ والتركيب والتثبيت. • اتّباع الخطوات الصحيحة في تنفيذ مهام الفحص حسب متطلبات السلامة المهنيّة. • فحص مصدر الجهد المغذّي. • فحص وسائل الحماية والوقاية الكهربائيّة وقدراتها الأمبيريَّة. • فحص ملفّات المحرّك للتأكُّد من صلاحيتها. • فحص أطراف توصيل المحرّك والكابلات المتصلة به. • تعرية أطراف الأسلاك وتركيب نهايات الكوابل وكبسها. • فحص ملفّات المحرّك للتأكُّد من صلاحيتها. • فحص أطراف توصيل المحرّك والأسلاك المتصلة به. • فحص وسائل التشغيل الكهربائيّة المستخدمة وقدراتها الأمبيريَّة. • تحديد مكان العطل وسببه. • تحديد طريقة الإصلاح.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• صندوق العِدّة. • القطع اللازمة لعمليّة التركيب والتشغيل والصيانة. • أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة.
أتحقّق	• التّحقّق من السلامة والاحتياطات الّتي تمَّ أخذها بعين الاعتبار أثناء فكّ المحرّك وتركيبه. • التّحقّق من تشغيل المحرّك حسب لوحة المحرّك الاسميّة. • التّحقّق من قيمة التيّار المسحوب من المحرّك أثناء العمل للتأكُّد من مطابقته لمواصفات المحرّك. • التّحقّق من جودة العمل.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• أدوات الفحص والقياس الكهربائيّة. • وثائق
أُوَثّق، وأقدم	• إنشاء قوائم خاصّة بالعِدَد اليدويّة ووسائل القياس المستخدمة. • تحديد جدول زمنيّ للتسليم. • تسليم قوائم العمل لمسؤول الصيانة. • فتح ملفّ بالحالة.	• الحوار والمناقشة. • التّعلّم التعاونيّ.	• جهاز حاسوب. • جهاز عرض. • قرطاسيّة.
أُقوم	• رضا الزبون. • المطابقة مع المواصفات والمعايير.	• الحوار والمناقشة. • البحث العلميّ.	• نماذج التقويم. • طلب الزبون.



الأسئلة:

1. ما الطريقة الصحيحة للقيام بصيانة أعطال آلات التيّار المتناوب؟
2. أبين كيف يتمّ اختيار وسيلة الحماية المناسبة؟
3. أبين كيف يتم تشخيص أعطال الآلات التيّار المتناوب؟

أتعلّم:

نشاط: أحضر محرّك غسّالة تالفاً، وقم بفحص أعطاله وتشخيصها، كما في الشكل التالي.



أولاً- فحص المحركات الكهربائية:

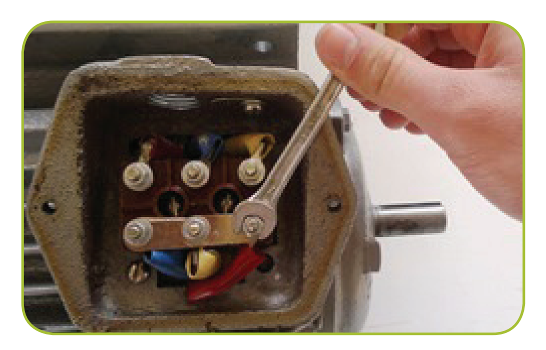
1- فحص المحرّك الكهربائيّ ثلاثيّ الطور: هناك نوعان من الفحوصات؛ ميكانيكيّ وكهربائيّ:

أ- الفحص الميكانيكيّ:

للتأكُّد من سلامة محور المحرّك من أيّ اعوجاج أو تشوه، كذلك فحص بيل المحرّك ومروحة التبريد، والتأكد من عدم وجود تراكم أتربة على الجسم والمروحة، وعدم وجود أيّ صدأ على جسم المحرّك.

ب- الفحص الكهربائيّ:

- أزل غطاء علبة ربط الأسلاك الموجودة على جسم المحرّك، وضع المسامير جانباً حتى لا تفقد.
- اقرأ لوحة بيانات المحرّك لتأكيد ما إذا كان المحرّك ذا طور واحد (1Ph) أو محرّكاً ثلاثيّ الأطوار (3Ph).
- يجب تحديد الأسلاك وتأشيرها، وخصوصاً إن كان المحرّك ثلاثيّ الأطوار؛ وذلك لضمان إعادتها بعد الفحص لموقعها الصحيح؛ ولكي لا يدور المحرّك بعكس الدوران الأصليّ .
- فكّ وصلات ربط ملفّات المحرّك (نحاسات الربط Coupling Bars)، كما في الشكل (1).
- أدر مفتاح جهاز الفحص (Ohm-Meter) على المقاومة (Ohm Setting) أو الجرس.
- قراءة المقياس ستكون (OL) اختصاراً لكلمة (Open Lead) وصلة مفتوحة، أو تكون القراءة صفر أوم (Zero Ohms).

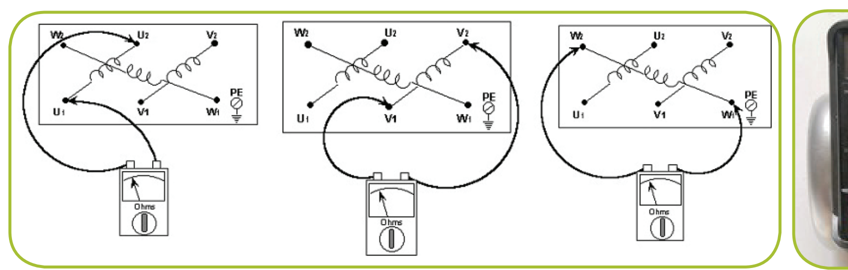


شكل (1): فكّ وصلات ربط ملفّات المحرّك

والفحص الكهربائيّ يتمّ في 4 مراحل:

- **اختبار توصيل ملفّات كلّ فاز على حدة:**

(W1/W2)، (V1/V2)، (U1/U2)، كما في الشكل (2): المفروض أن جهاز الفحص يعطي مقاومة متساوية في ملفّات الفازات الثلاث.

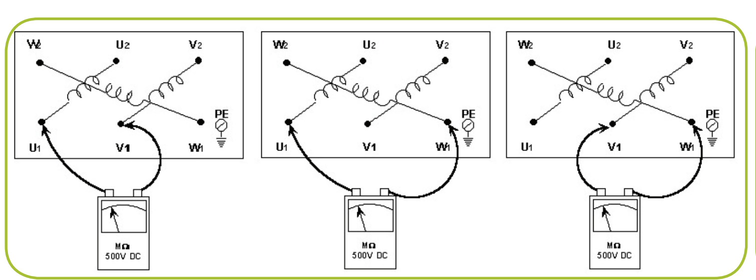




شكل (2): اختبار توصيل ملفّات كلّ فاز على حدة

- **اختبار عزل ملفّات كلّ فاز عن الفاز الآخر:**

(V1/W1)، (U1/W1)، (U1/V1)، كما في الشكل (3): المفروض أن جهاز الفحص يعطي (OL) (أي لا يوجد تلامس ملفّات أيّ فاز مع ملفّات الفاز الآخر).

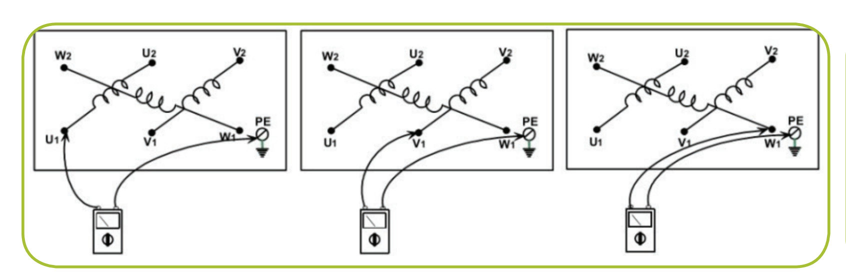




شكل (3): اختبار عزل ملفّات كلّ فاز عن الفاز الآخر

- **اختبار عزل كلّ فاز مع جسم المحرّك:**

(W1/Ground)، (V1/Ground)، (U1/Ground)، كما في الشكل (4): المفروض أن جهاز الفحص يعطي (OL) (أي لا يوجد تلامس بين أيّ سلك وجسم المحرّك).





شكل (4): اختبار عزل كلّ فاز مع جسم المحرّك

هذه الاختبارات يمكنها تأكيد عدم وجود خطأ، ولكن لا تؤكد بصورة قاطعة صلاحية المحرّك، إلا بعد تشغيله وقياس شدة تيّاره، وهو يعمل بالحمل.

- **قياس استمرارية التوصيل في المحرّك الكهربائيّ باستخدام جهاز الميجر:**

خطوات الفحص:

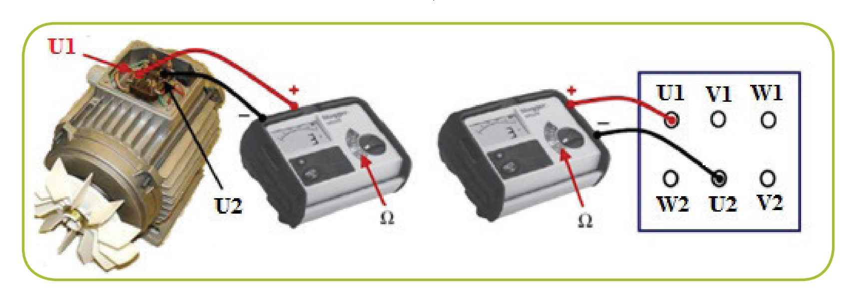
» ضبط مفتاح الميجر على مقياس (Ω) لقياس استمرارية التوصيل.
» وصل جسم المحرّك بالأرضي لتفريغ أيّ شحنات كهروستاتيكية.
» فصل بدايات الملفّات ونهاياته، ثم فصل المحرّك من أيّ توصيلات خارجيّة مثل المكثّف.
» وصل الطرف الأول للملف (U1) بالطرف الموجب للميجر، والطرف الثاني للملف (U2) بالطرف السالب للميجر.
» من دون ضغط مفتاح الاختبار (TEST) ستظهر النتائج مباشرة على شاشة الجهاز، عند استقرار المؤشر أو القراءة الرقميّة، كما في الشكل (5).

⁕ **إذا كانت القراءة ما لا نهاية (∞):** هذا يعني وجود قطع في الدائرة الكهربائيّة.
⁕ **إذا كانت القراءة صفر أوم (0Ω) أو قيمة قريبة من الصفر:** هذا يعني قصراً في الدائرة الكهربائيّة.
⁕ **إذا كانت قراءة مقاومة قيمة معينة (مقاومة الملف):** المحرّك سليم.

» كرر الخطوتين 4 و 5 للملفّين الآخرين، وسجّل القراءة.
» صل الطرف الأول للملف (U1) بالطرف الموجب للميجر، والطرف الثاني للملف (V1) بالطرف السالب للميجر، وسجّل القراءة.
» كرّر الخطوة 7 ما بين (U1) و (W1)، وسجّل القراءة.
» كرّر الخطوة 7 ما بين (W1) و (V1)، وسجّل القراءة.

⁕ **إذا كانت قراءة المقاومة قراءة كبيرة:** المحرّك سليم.

» قس استمرارية التوصيل ما بين كلّ ملفّ وجسم المحرّك، وسجِّل القراءة.
» إذا كانت قراءة المقاومة قراءة كبيرة: المحرّك سليم.

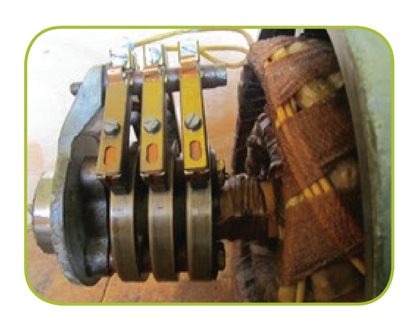


شكل (5): قياس استمرارية التوصيل في المحرّك الكهربائيّ باستخدام جهاز الميجر

2- فحص محرّك ثلاثيّ الطور ذي العضو الدّوّار الملفوف:

المحرّكات الثلاثيّة الوجه ذات العضو الدّوّار الملفوف من المحرّكات المستخدمة في المجالات الصناعيّة؛ وذلك بسبب عزم بدئها العالي، وإمكانيّة التحكّم بتيّار البدء والسرعة لها، ولكن من مساوئ المحرّك الصيانة الدائمة بسبب وجود الفرش الكربونية، و لفحص المحرّك يجب اتّباع الآتي:

- فكّ المحرّك الكهربائيّ.
- اسحب الغطاء المثبت عليه قواعد الفرش الكربونية الخاصّة بحلقات الانزلاق، كما في الشكل (6).



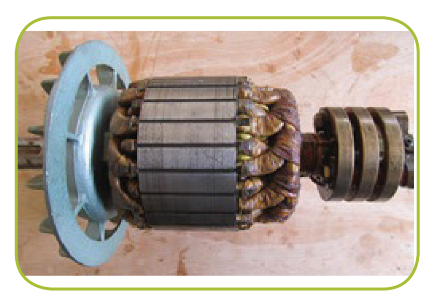
شكل (6): اسحب الغطاء المثبت عليه قواعد الفرش الكربونية الخاصّة بحلقات الانزلاق

- فكّ الأسلاك المتَّصلة مع قواعد الفرش الكربونية المتَّصلة بحلقات الانزلاق وعلمها.
- فكّ الفرش الكربونية المثبتة على حلقات الانزلاق، كما في الشكل (7).



شكل (7): فكّ الفرش الكربونية المثبتة على حلقات الانزلاق

- اسحب العضو الدّوّار للخارج، وتعرف عليه، كما في الشكل (8).



شكل (8): العضو الدّوّار لمحرّك ثلاثيّ الطور ذي العضو الدّوّار الملفوف

- افحص الاتّصال الكهربائيّ بين حلقات الانزلاق، باستخدام جهاز الأفوميتر على تدريج منخفض، كما في الشكل (9).



شكل (9): فحص الاتّصال الكهربائيّ بين حلقات الانزلاق

- دوّن النتائج الَّتي حصلت عليها في الجدول التالي:

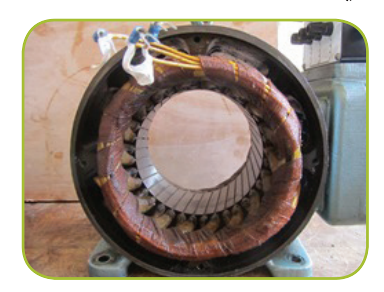
حالة الفحص	قيمة المقاومة
حلقة الانزلاق (1) مع حلقة انزلاق (2)	
حلقة الانزلاق (1) مع حلقة انزلاق (3)	
حلقة الانزلاق (2) مع حلقة انزلاق (3)	

- افحص التماس الأرضي بين حلقات الانزلاق وعامود المحور بضبط جهاز الفحص على قيمة مقاومة مرتفعة، كما في الشكل (10).



شكل (10): فحص التماس الأرضي بين حلقات الانزلاق وعامود المحور

- عاين العضو الساكن وملفاته، كما في الشكل (11).



شكل (11): معاينة العضو الساكن وملفاته

- افحص الاتِّصال بين ملفّات العضو الساكن بواسطة جهاز الأفوميتر على مقاومة منخفضة، كما في الشكل (12).



شكل (12): افحص الاتِّصال بين ملفّات العضو الساكن

ودوِّن النتائج الَّتي تحصل عليها في الجدول الآتي، والهدف التأكد من أن القيم الَّتي يتمّ قياسها هي قيم متساوية للتأكُّد من سلامة ملفّات المحرّك.

حالة الفحص	قيمة المقاومة
بداية الطور الأول مع نهايته	
بداية الطور الثاني مع نهايته	
بداية الطور الثالث مع نهايته	

- افحص القصر بين ملفّات الأطوار المختلفة وهيكل المحرّك باستخدام جهاز الأفوميتر على قيمة قياس عالية، كما في الشكل (13).



شكل (13): فحص القصر بين ملفّات الأطوار المختلفة وهيكل المحرّك

- أعد تجميع المحرّك.



3- فحص المحرّكات الأحاديّة الطور:

فحص المحرّكات ذات الطور الواحد واختبارها يكون أصعب قليلاً، ويمكن أن يجرى ذلك بعد إزالة المكثّف من مكان تثبيته، والحرص على عدم لمس نقاط التوصيل في المكثّف باليد؛ تفادياً من التكهرب بالشحنات الكهربية المخزونة فيه، وهي عادة ذات فولطية مؤثرة، وفي معظم الحالات يكون استبدال المكثّف بآخر جديد كافياً، حيث لا مجال لتصليحه.

ويتم فحص المحرّكات الأحاديّة الطور كما يأتي:

أ- فحص مكثّف المحرّك الكهربائيّ:

إن اجراء فحص واختبار مكثّف بدء الحركة في المحرّكات الكهربائيّة هي الخطوة الأولى والجيِّدة؛ لأن لها دور الأساس في تشغيل المحرّك وتدويره، فكيف يدقّق ويفحص مكثّف بداية التشغيل؟

- الفحص باستخدام جهاز قياس تناظري (Analog Meter):

- قطع الطاقة الكهربائيّة وفصلها عن المحرّك الكهربائيّ.
- إجراء فحص عام بالنظر أولاً على المكثّف، فإذا وجد تسرب من المادة الكيميائية الَّتي هي في المكثّف، فهذا يُعدّ مؤشراً سيئاً؛ مما يستوجب استبدال المكثّف، والتأكد من أن الأسلاك متصلة بالمكثّف ومثبتة بشكل صحيح، وليس هناك أضرار قد لحقت بها، فإذا تمَّ العثور على الضرر مثل ذلك، فيتم إصلاحها أو استبدالها.
- قبل فصل المكثّف لإجراء الفحص والاختبار عليه، يجب تفريغه من الشحنات الكهربائيّة المخزنة به، وذلك باستخدام مفك البراغي لعمل وصلة قصر على طرفي المكثّف، كما في الشكل (14).



شكل (14): قصر طرفي المكثّف لتفريغ الشحنة الكهربائيّة المخزنة به

- مس طرفي المكثّف بنهايتي سلكيّ جهاز الفحص (AVO)، وهو على وضع قراءة المقاومة (Ohms Meter)، كما في الشكل (15).



شكل (15): مس طرفي المكثّف بنهايتي جهاز قياس المقاومة التناظري

- إذا تحرك المؤشر نحو صفر، ورجع ببطء إلى ما لا نهاية، فإنّ ذلك يدل على أن المكثّف بحالة جيدة.
- إذا تحرك المؤشر فإنّ ذلك يدل على أن المكثّف به فتح يستبدل بآخر.
- إذا تحرك المؤشر نحو الصفر، وبقي في هذا الوضع، فإنّ ذلك يدل على أن المكثّف به قصر، وكذلك يجب أن يستبدل بآخر، كما في الشكل (16).



شكل (16): فحص المكثّف باستخدام جهاز قياس تناظري Analog Meter

وعند معرفة قيمة الجهد الذي يشتغل عليه المكثف، هناك طريقة تقريبية لفحص المكثّف، وهي أن تأخد المكثّف وتضعه للحظات على مصدر الجهد، بحيث لا يزيد عن الجهد المكتوب على المكثّف، ثم تنزع السلكين من المصدر وتعمل قصراً عِدّة مراة للمكثّف، فإذا عمل شرارة دل ذلك على أن المكثّف جيِّد .

- الفحص باستخدام جهاز القياس (DMM):

- ضع مفتاح المقياس الرقميّ على وضع 1 كيلو أوم على الأقل (1KΩ).
- مس طرفي المكثّف بنهايتي سلكي جهاز القياس (DMM).
- اعكس نهايتي سلكي جهاز الفحص، ومسّ طرفي المكثّف نفسيهما.
- ستلاحظ بأن جهاز القياس سيعرض بعض الأعداد لمدة ثانية، ثم سيعود إلى قراءة (OL) (الخطّ مفتوح)، ويجب أن يعمل هذا في كلّ مرة يغير فيها وضع نهايتي سلكي جهاز الفحص، فإذا حصل ذلك، فمكثّف بداية التشغيل يكون جيداً، كما في الشكل (17).



شكل (17): جهاز القياس سيعرض بعض الأعداد لمدة ثانية، ثم سيعود إلى قراءة OL (الخطّ مفتوح)

- تحديد طرفي ملفّ التشغيل (U1،U2)، وطرفي ملفّ البدء (Z1،Z2)، ونقاط توصيل مفتاح الطرد المركزيّ باستخدام جهاز (DMM).



ب- قياس مقاومة (اختبار توصيل) كلّ ملفّ على حدة، فيعطي قيماً متساوية تقريباً:

- طرفي ملفّ التشغيل يقرأ جهاز القياس قراءة أوم صغيرة.
- طرفي ملفّ البدء يقرأ جهاز القياس قراءة أوم كبيرة.
- طرفي مفتاح الطرد المركزيّ يقرأ جهاز القياس صفر أوم.

ج- قياس مقاومة كلّ ملفّ مع الآخر:

المفروض أن جهاز الفحص يعطي (OL) (أي لا يوجد تلامس بين ملفّ التشغيل وملف البدء).

د- قياس مقاومة (فحص عزل) كلّ ملفّ مع جسم المحرّك (الإرث):

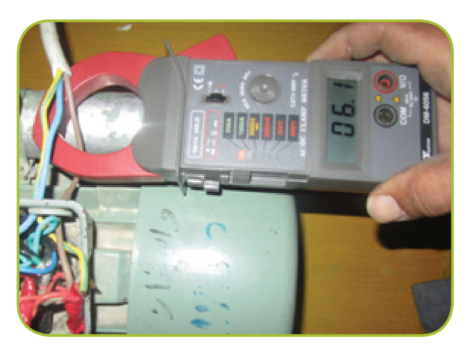
المفروض أن جهاز الفحص يعطي (OL) (أي لا يوجد تلامس بين أيّ ملفّ وجسم المحرّك).

هـ - تشغيل المحرّك وقياس سرعته باستخدام جهاز قياس سرعة المحرّكات الكهربائيّة (Tachometer)، كما في الشكل (18).



شكل (18): قياس سرعة المحرّك الكهربائيّ

و- قياس تيّار المحرّك، والتأكد من أنه أقل من القيمة المسجلة على لوحة البيانات (لماذا؟)، كما في الشكل (19).



شكل (19): قياس تيّار المحرّك

ثانياً- تشخيص أعطال المحركات ثلاثية الطور:

هناك أعطال مختلفة تحدث في محرّكات التيّار المتناوب ثلاثيّة الطور، لذلك يتمّ إصلاحها بعد اكتشافها وتشخيصها، وفيما يأتي بعض الأعطال الَّتي قد تحدث وكيفيّة إصلاحها.

الرقم	نوع العطل	السبب	الإصلاح
أولاً	أعطال المحرّك الحثّيّ ثلاثيّ الطور ذي القفص السنجابي		
1	المحرّك لا يستطيع الإقلاع	احتراق أحد المصهرات	تبديل المصهر المحترق بعد تحديد السبب
		انقطاع أحد الأطوار	توصيل الطور المقطوع
		التحميل الزائد	معرفة سبب التحميل الزائد
			تخفيض حمولة المحرّك
2	ارتفاع درجة حرارة المحرّك	التحميل الزائد	معرفة سبب التحميل الزائد
			تخفيض حمولة المحرّك
		انسداد فتحات التهوية	إزالة الأتربة والأوساخ
		قصر في ملفّات العضو الثابت	إعادة لفّ المحرّك
		انخفاض جهد التغذية	فحص جهد المصدر
		ارتفاع جهد التغذية	فحص جهد المصدر
		قصر في ملفّات العضو الثابت	إعادة لفّ المحرّك
		انقطاع أحد الأطوار	توصيل الطور المقطوع
		احتكاك العضو الدوّار بالعضو الثابت	فك المحرّك لفحصه
3	المحرّك يدور ببطء	التحميل الزائد	معرفة سبب التحميل الزائد
			تخفيض حمولة المحرّك
		جهد التغذية منخفضة	تعديل جهد التغذية
		قيمة التردّد أقل من التردّد الاسميّ	فحص تردّد المصدر
		كسر في قضبان العضو الدوار	تغيير العضو الدوار
		ملفّات العضو الثابت مقصورة	إعادة لفّ المحرّك
		أحد ملفّات العضو الثابت مفتوحة	إعادة لفّ المحرّك
		انقطاع أحد الأطوار	توصيل الطور المقطوع

ثانياً	أعطال المحرّك الحثّيّ ثلاثيّ الطور ذي العضو الدّوّار الملفوف		
1	المحرّك لا يستطيع الإقلاع	احتراق أحد المصهرات	تبديل المصهر المحترق بعد تحديد السبب
		انقطاع أحد الأطوار	توصيل الطور المقطوع
		التحميل الزائد	معرفة سبب التحميل الزائد
			تخفيض حمولة المحرّك
		فتح في دارة المقاومة المتغيّرة	تبديل المقاومة المتغيّرة
		الفحمات لا تضغط على حلقات الانزلاق كما يجب	فحص التلامس مع حلقات الانزلاق
		الفحمات لا تلامس حلقات الانزلاق	فحص التلامس مع حلقات الانزلاق
		فتح في دارة العضو الدوار	التأكد من سلامة العضو الثابت
			التأكد من مقاومة تنظيم السرعة
			تخفيض حمولة المحرّك
			إعادة لفّ العضو الدوار
2	المحرّك يسخن أثناء العمل	التحميل الزائد	معرفة سبب التحميل الزائد
			تخفيض حمولة المحرّك
		انخفاض في جهد التغذية	فحص جهد المصدر
		ارتفاع في جهد التغذية	فحص جهد المصدر
		انسداد فتحة التهوية	إزالة الأتربة والأوساخ
		ملفّات العضو الثابت مقصورة	إعادة لفّ العضو الثابت
		ملفّات العضو الثابت مفتوحة	إعادة لفّ العضو الثابت
		انقطاع أحد الأطوار	توصيل الطور المقطوع
		تردّد المصدر منخفض	فحص تردّد المصدر
		ملفّات العضو الثابت متصلة مع الأرض	إعادة لفّ العضو الثابت
		احتكاك العضو الدّوّار بالعضو الثابت	فك المحرّك لفحصه
3	المحرّك يدور ببطء	التحميل الزائد	معرفة سبب التحميل الزائد
			تخفيض حمولة المحرّك
		انخفاض جهد التغذية	فحص جهد المصدر
		مقاومة تنظيم السرعة عالية القيمة	إعادة المقاومة إلى الصفر
		ملفّات العضو الدّوّار مفتوحة	إعادة لفّ العضو الدوار
		ملفّات العضو الدّوّار مقصورة	إعادة لفّ العضو الدوار
		انقطاع أحد الأطوار	توصيل الطور المقطوع
		دائرة العضو الدّوّار مفتوحة	إعادة لفّ العضو الدوار

ثالثاً- تشخيص أعطال المحرّكات أحادي الطور:

هناك أعطال مختلفة تحدث في محرّكات التيّار المتناوب أحاديّة الطور؛ وذلك تبعاً لنوعيّة هذه المحرّكات وتركيبها، وتختلف باختلاف أنواع هذه المحرّكات، ولكل عطل من الأعطال الَّتي تتعرّض لها المحرّكات مظهر معين، مثل عدم استطاعة المحرّك على بدء دورانه برغم وصول التيّار الكهربائيّ إليه، أو أن يدور المحرّك بسرعة بطيئة ويصدر عنه صوت أو ضجيج .....إلخ. وفيما يأتي بعض الأعطال الَّتي قد تحدث وكيفيّة إصلاحها.

الرقم	نوع العطل	التشخيص	الإصلاح
1	المحرّك لا يستطيع الإقلاع	احتراق المصهر	تحديد سبب احتراق المصهر
			استبدال المصهر المحترق
		تعطل آليّة الإقلاع	فحص ملفّات التشغيل
			فحص ملفّات البدء
			فحص المكثّف واستبداله
		فتح الملفّات البدء	فحص ملفّات البدء وإعادة لفّ المحرّك إن لزم الأمر
		فتح ملفّات التشغيل	فحص ملفّات التشغيل وإعادة لفّ المحرّك إن لزم الأمر
		مواسع البدء مقصور	فحص المكثّف واستبداله
2	المحرّك يسخن في أثناء العمل	تحميل زائد (ميكانيكيّ/ كهربائيّ)	معرفة سبب التحميل الزائد
			تخفيف حمولة المحرّك
		ملفّات البدء تبقى متصلة في الدائرة	فحص مفتاح الطرد المركزيّ
		الجهد منخفض	فحص جهد المصدر
		الجهد مرتفع	فحص جهد المصدر
		فتحات التهوية مسدودة	إزالة الأتربة والأوساخ
		قصر في ملفّات العضو الثابت	فحص ملفّات المحرّك
			إعادة لفّ المحرّك
		احتكاك العضو الدّوّار بالعضو الثابت	فك المحرّك لمعاينة العضو الدوار
3	المحرّك يدور ببطء	تحميل زائد (فحص كراسي التحميل)	معرفة سبب التحميل الزائد
			تخفيف حمولة المحرّك
		الجهد منخفض	فحص جهد المصدر
		قصر في ملفّات العضو الثابت	فحص ملفّات المحرّك
			إعادة لفّ المحرّك

أسئلة الوحدة

السؤال الأول: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1- ما الرمز الذي يدل على تيّار المنتج في محرّك التيّار المستمرّ؟

أ. I_s

ب. R_s

جـ. I_a

د. I_F

2- ما مميزات محرّك التيّار المستمرّ من نوع التوازي؟

أ. استخدامه في التطبيقات الّتي تحتاج إلى عزم بدء كبير.

ب. استخدامه في التطبيقات الّتي تحتاج إلى سرعة كبيرة.

جـ. استخدامه في التطبيقات الّتي تحتاج إلى ثبات في السرعة.

د. استخدامه في التطبيقات الّتي تحتاج إلى تيّار بدء كبير.

3- ما طريقة تغيير سرعة محرّك التيّار المستمرّ؟

أ. بتغيير جهد المنتج.

ب. بتغيير التدفق المغناطيسيّ (تيّار المجال).

جـ. بتغيير جهد المصدر.

د. بتغيير تيّار المنتج.

4- ما طريقة توصيل مقاومة متغيّرة لتغيير سرعة محرّك تيّار مستمرّ من نوع توازٍ؟

أ. على التوازي مع ملفّات الأقطاب.

ب. على التوالي مع ملفّات الأقطاب.

جـ. على التوالي مع ملفّات المجال.

د. على التوازي مع ملفّات المجال.

5- كيف يتناسب عزم البدء لمحرّك تيّار مستمرّ من نوع توالٍ؟

أ. تناسباً طردياً مع تيّار المنتج.

ب. تناسباً طردياً مع مربع تيّار المنتج.

جـ. تناسباً طردياً مع تيّار الأقطاب.

د. تناسباً طردياً مع مربع جهد المنتج.

6- ما طريقة عكس اتجاه دوران محرّك تيّار مستمرّ؟

أ. تبديل توصيل أطراف المحرّك مع مصدر الجهد المستمرّ.

ب. تبديل توصيل أطراف المحرّك مع مصدر الجهد المتناوب.

جـ. تبديل اتجاه دخول التيّار لكل من ملفّات المنتج وملفّات الأقطاب معاً.

د. تبديل اتجاه دخول التيّار لكل من ملفّات المنتج أو ملفّات الأقطاب.

7- ما طريقة التأكد من صلاحية منتج محرّك تيّار مستمرّ؟

أ. فحص التماس بين حلقات الموحد ومحور الدوران.

ب. فحص استمرارية التوصيل لملفّات المنتج.

جـ. فحص التماس بين حلقات الموحد.

د. جميع ما ذكر.

8- ماذا يساوي الحصان الميكانيكيّ؟

أ. 1KW.

ب. 0.5KW.

جـ. 0.75KW تقريباً.

د. 250W.

9- ما سرعة محرّك حثّيّ له أربعة أقطاب؟

أ. 3000RPM

ب. 900RPM

جـ. 1500RPM

د. 750RPM

10- ماذا تعني عبارة (IP) المكتوبة على المحرّكات؟

أ. نوع العزل.

ب. درجة الحماية من الغبار والمياه.

جـ. نوع الحمولة.

د. معامل القدرة.

11- ماذا تعني (DUTY S1) المكتوبة على جسم المحرّك؟

أ. التشغيل بشكل مستمرّ.

ب. التشغيل بشكل متقطع.

جـ. التشغيل بشكل متقطع دوري.

د. التشغيل متقطع من دون تيّار بدء عالٍ.

12- ما التوصيلة الَّتي تسحب تيّار أعلى في محرّك (3 فاز)؟

أ. توصيلة ستار.

ب. توصيلة دلتا.

جـ. يسحب المحرّك تيّاراً متساوياً في الحالتين.

د. لا شيء مما ذكر.

13- ما منطقة التشغيل غير المستقرّ لمحرّك حثّيّ ثلاثيّ؟

أ. يستطيع المحرّك فيها إدارة أيّ حمل.

ب. لا يستطيع المحرّك فيها إدارة أيّ حمل.

جـ. يتم الحصول على أعلى عزم للمحرّك فيها.

د. يحصل فيها أفضل خصائص المحرّك.

14- ما أفضل طريقة للتحكم بسرعة محرّك حثي؟

أ. باستخدام مقاومة متغيّرة.

ب. بتغيّر قيمة الجهد.

جـ. بتغيّر قيمة التردّد.

د. بتغيّر كلّ من الجهد والتردّد معاً بنسبة ثابتة.

15- ما وظيفة مفتاح الطرد المركزيّ في محرّك أحاديّ الطور؟

أ. تغيّر سرعة المحرّك.

ب. إعطاء عزم أعلى.

جـ. فصل ملفّات البدء بعد سرعة حوالي (95%).

د. فصل ملفّات الحركة بعد سرعة حوالي (95%).

16- ما الفرق بين قيمة مقاومة ملفّ البدء وملف التشغيل في محرّك (1 فاز) ذي مكثّف؟

أ. مقاومة ملفّ البدء أكبر من ملفّ التشغيل.

ب. المقاومتان متساويتان.

جـ. مقاومة ملفّ التشغيل أكبر من ملفّ البدء.

د. جميع ما ذكر.

17- كيف يمكن عكس اتجاه دوران محرّك أحاديّ الطور؟

أ. عكس ملفّات المحرّك بالنسبة للمصدر .

ب. عكس ملفّات البدء بالنسبة للمصدر.

جـ. عكس ملفّات البدء والحركة معاً بالنسبة للمصدر.

د. حسب نوع توصيل المحرّك.

18- ما سبب دوران محرّك حثّيّ أحاديّ الطور ببطء؟

أ. تحميل زائد (فحص البيل).

ب. الجهد منخفض.

جـ. قصر في ملفّات العضو الساكن.

د. جميع ما ذكر.

19- ما سبب سخونة محرّك (1 فاز) ذو مكثّف أثناء العمل؟

أ. مقاومة ملفّ البدء اكبر من ملفّ التشغيل.

ب. ملفّات البدء تبقي متصلة في الدائرة.

جـ. فتح الملفّات البدء.

د. جميع ما ذكر.

20- ما السبب في عدم دوران محرّك حثّيّ ثلاثيّ الطور؟

أ. احتراق أحد المصهرات.

ب. فصل في مصدر التغذية.

جـ. حمل زائد على المحرّك.

د. طريقة التوصيل.

السؤال الثاني:

1- ما وظيفة ملفّات المجال بالنسبة لمحرّك تيّار مستمرّ؟

2- ما وظيفة الفرش الكربونية (الفحمات) في محرّك تيّار مستمرّ؟

3- كيف يتمّ عكس دوران محرّك تيّار مستمرّ؟

4- كيف يتمّ توحيد التيّار في آلة تيّار مستمرّ؟

5- لماذا يتمّ توصيل ملفّات المجال أولاً عند تشغيل المحرّك ذي الإثارة المنفصلة، في حين يتمّ فصلها أخيراً عند الإيقاف؟

6- اذكر أهم الأعطال الَّتي قد تحدث لمحرّك تيّار مستمرّ مع الشرح.

7- بين كيف يتمّ التحكّم بسرعة محرّك تيّار مستمرّ من خلال شرح المعادلة الآتية:

$$\omega = \frac{E_a}{K_a \theta} = \frac{V_{s1} - I_a R_a}{K_a \theta}$$

السؤال الثالث: حسب اللَّوحة الاسميّة للمحرّك المرفقة حدد ما يأتي:

نوع المحرّك:	
جهد التغذية:	
التيّار المقنن:	
معامل القدرة:	
السرعة المقنّنة:	

Motor & Co GmbH
Typ 160 l
3 ~ Mot. | Nr. 12345-88
Δ Y 400/690 V | 29/17 A
S1 15 kW | cos φ 0,85
1430 U/min | 50 Hz
Iso.-Kl. F | IP 54 | t
IEC34-1/VDE 0530

السؤال الرابع: طابق بين البنود في العمود الأول والتي تقابلها في العمود الثاني:

العمود الأول		العمود الثاني	الجواب
محرّك توالي	أ	DCV، F1، F2، ملف التوازي، المنتج، A1، A2	
محرّك مركب	ب	S1، S2، ملف التوالي، DCV، المنتج، A1، A2	
محرّك توازٍ	ج	S1، S2، ملف توالي، F1، ملف توازي، F2، DCV، المنتج، A1، A2	
محرّك ذو إثارة منفصلة	د	M، -، +	
متشابه قصير	هـ	F1، F2، DC، + A1، – A2	

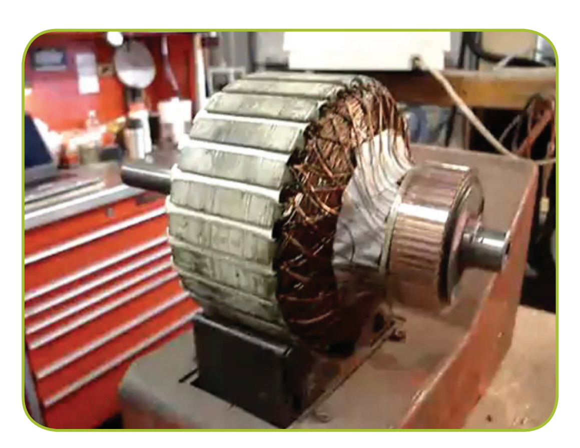
تمارين عمليّة تقييمية:

تمرين (1): اكتب دلالة كلّ من الأحرف والأرقام المُبيّنة في اللَّوحة الاسميّة المُبيّنة في الشكل (1) باللغة العربية.

LEYBOLD DIDACTIC GMBH		
TYP 73121		
Motor		Nr. 200 26 957
220 V		0.63 A
0.1	S1	∞ s Ø.....
2000 min^{-1}		..... Hz
Exc. Field 220 V		0.08 A
I.K.L. B	IP 23	
VDE 0530		

شكل (1): اللَّوحة الاسميّة لمحرّك تيّار مستمرّ

تمرين (2): المطلوب فحص منتج محرّك التيّار المستمرّ المبين في الشكل (2) للتأكُّد من صلاحيته.



شكل (2): منتج محرّك تيّار مستمرّ

تمرين (3): المطلوب إجراء فحص التماس بين حلقات الموحد ومحور الدوران لمحرّك تيّار مستمرّ؟

قائمة المصطلحات الفنية

المصطلح بالعربية	المصطلح بالانجليزي
قلب المنتج	**Armature Core**
ملفات المنتج	**Armature Winding**
القاعدة	**Base**
ترانزستور ثنائي القطبية	**(Bipolar Junction Transistor - BJT)**
دوائر التوحيد	**Bridge Rectifier**
الفرش الكربونية	**Brush**
محركات التيار المستمر بدون فرش كربونية	**Brushless DC Motor**
المحولات ذات النقطة الوسطية	**Center Tap Transformer**
متتبع الدوائر	**Circuit Tracer**
جهاز قياس التيار	**Clamp meter**
المجمع	**Collector**
عضو التوحيد/العاكس	**Commutator**
المحرك المركب	**Compound Motor**
قلب حديدي	**Core**
محول التيار	**Current Transformer**
نشرة البيانات	**Data Sheet**
شفّاط اللِّحام	**Desoldering Pump**
الدياك	**Diac**
جهاز متعدد القياسات	**(Digital Multimeter - DMM)**
الديود	**Diode**

(Direct Online - DOL)	توصيل الاحمال (المحركات) بالطريقة المباشرة
Earth Leakage	قاطع الحماية الفرقي
Electric Growler	جهاز الزوام الكهربائي
Emitter	الباعث
Field Coils	ملفات المجال/الأقطاب
(Field Effect Transistor - FET)	ترانزستور تأثير المجال
Field Poles	أقطاب المجال
Full - Wave Rectifier	تقويم الموجة الكاملة
Half - Wave Rectifier	تقويم نصف الموجة
Hall Sensor	حساسات هول
Heat sinks	المبددات الحرارية (المبردات)
(Insulated Gate Bipolar Transistor - IGBT)	ترانزستور ثنائي القطبية معزول القطبية
Insulation Tester	جهاز فحص العزل
Interfacing Circuit	دارة الموائمة
IP (Ingress Protection)	درجة العزل
Isolation Transformer	محولات العزل
(Junction Field Effect Transistor - JFET)	ترانزستور تأثير المجال ذي الوصلة
(Light Emitting Diode - LED)	الديود الباعث للضوء
Long Compound Motor	محرك مركب طويل
(Metal Oxide Semiconductor FET - MOSFET)	ترانزستور تأثير المجال نوع الأكسيد المعدني
Motor Name Plate	اللوحة الإسمية للمحرك الحثي
Normally Close (NC)	نقاط وضعها الطبيعي مغلق

Normally Open (NO)	**نقاط وضعها الطبيعي مفتوح**
n_{slip}	**سرعة الإنزلاق**
Ohmmeter	**جهاز قياس المقاومة**
Overload	**القاطع الحراري**
Overload Current	**تيار الحمل الزائد**
Permanent Magnet DC Motors	**محركات تيار مستمر ذو إثارة دائمة**
Phase Sequence/Phase Failure	**قاطع حمايه ضد إنقطاع في أحد الفازا ت أو تتابع الفازات**
Photo Diode	**الديود الضوئي/الديود الحساس للضوء**
Pole	**قطب**
Power Transformer	**محول القدرة**
Primary Winding	**ملف ابتدائي**
Rectifiers	**المقومات**
Regulation	**منظم الجهد**
Relay	**المُرَحِل/الريلاي**
(Revolution Per Minute - RPM)	**سرعة المحرك دورة/دقيقة**
Rotor	**العضو الدوار**
Running Winding	**ملف التشغيل لمحرك احادي الطور**
Schottky Diode	**ديود شوتكي**
Secondary Winding	**ملف ثانوي**
Self Excited DC Motors	**محركات التيار المستمر ذات التغذية الذاتية**
Separately Excited DC Motors	**محركات التيار المستمر ذات التغذية المنفصلة**
Series Motor	**محرك التوالي**

Short Circuit Current	تيار القصر
Short Compound Motor	محرك مركب قصير
Shunt Motor	محرك التوازي
(Silicon Controlled Rectifier - SCR)	المقوم السليكوني المحكوم (الثايرستور)
Single Phase Motor	محرك أحادي الطور
Single Phase Transformer	محول أحادي الطور
Slip - Ring Rotor or Wound Rotor	العضو الدوار الملفوف (ذو حلقات الإنزلاق)
Slip (S)	الإنزلاق
Smoothing	دائرة الترشيح/التنعيم
Soft Start	تشغيل ناعم
Soft Starter	أجهزة البدء الإلكترونية
Soldering Flux	معجون اللحام
Soldering Iron	كاوي اللِّحام
Soldering Iron Stand	حامل كاوي اللِّحام
Soldering Lead	سلك اللِّحام
SolderWick	الشيلد تُستخدم لإزالة اللحام
Squirrel Cage Motor	المحرك الحثي ثلاثي الطور ذو القفص السنجابي
Starting Torque	عزم دوران المحرك
Starting Winding	ملف البدء لمحرك احادي الطور
Stator	العضو الثابت/الساكن
Step Down Transformer	محولات خافضة للجهد
Step Up Transformer	محولات رافعة للجهد

(Switching Mode Power Supply - SMPS)	**مغذيات الطاقة المفتاحية**
Synchronous Motor	**المحرك التزامني**
Three Phase Fault	**القصر الثلاثي الأوجه**
Three Phase Motor	**محرك ثلاثي الطور**
Three Phase Transformer	**محول ثلاثي الطور**
Torque	**عزم**
Transformer	**المحول**
Transformers Diagnostic	**تشخيص أعطال المحولات**
Transistors	**الترانزستورات**
Triac	**الترياك**
(Unijunction Transistor - UJT)	**ترانزستور أحادي الوصلة**
(Variable Frequency Drive - VFD)	**انفيرتر**
V_L	**جهد الخط**
Voltage Regulation	**دوائر تنظيم الجهد**
Voltage Transformer	**محول الجهد**
V_{phase}	**جهد الطور**
Welding	**اللحام**
Yoke	**الإطار الخارجي أو الهيكل**
Zener Diode	**ديود الزينر**

تَمَّ بِحَمْدِ اللّهِ

لجنة المناهج الوزاريّة

د. صبري صيدم

د. بصري صالح

أ. ثروت زيد

د. سميّة النّخالة

م. وسام نخلة

لجنة الخطوط العريضة لمنهاج آلات صناعية

م. زياد القواسمة

م. أيمن الزعتري

م. رامي أبو شخيدم

م. عزيز عرفة